

Уральский Федеральный университет  
имени первого президента России Б.Н. Ельцина  
Высшая школа экономики и менеджмента  
Лаборатория международной и региональной экономики

# **Проектирование оптимальных социально-экономических систем в условиях турбулентности внешней и внутренней среды**

Под редакцией Ханса Висмета, Александра Неппа

Работа выполнена при финансовой поддержке  
Российского научного фонда (№ 15-18-10014)

 *Экономика*

2017

УДК: 330.46:519.86

ББК 65.01в6

П79

Научные редакторы:

Х. Висмет, доктор наук, профессор, УрФУ,  
Технический университет Дрездена, Германия  
А.Н. Непп, к.э.н., доцент, УрФУ

Научные рецензенты: А.Г. Шеломенцев, д.э.н., профессор, Институт экономики УрО РАН;  
Флориан Бирман, Университет Ноттингема, Великобритания

Составитель:

А.А. Шилков, научный сотрудник, УрФУ

Введение и заключение: А.А. Шилков, научный сотрудник, УрФУ;

Гл. 1: Х. Висмет, доктор наук, профессор, УрФУ; Технический университет Дрездена, Германия  
В.А. Ларионова, к. ф.-м. н., доцент, УрФУ;

Гл. 2: А.Ф. Шорилов, д. ф.-м. н., профессор, УрФУ;

Гл. 3: О.С. Мариев, к.э.н., доцент, УрФУ; И.М. Драпкин, д.э.н., доцент, УрФУ;  
Е.В. Долженкова, к.э.н., доцент, УрФУ;

Гл. 4: Г.А. Агарков, д.э.н., профессор, УрФУ;

Гл. 5: А.Н. Непп, к.э.н., доцент, УрФУ;

Гл. 6: В.В. Отращенко, PhD, доцент, УрФУ, Университет Лиссабона, Португалия;

О.В. Попова, PhD, доцент, УрФУ; Институт Восточной и Юго-Восточной Европы,  
Регенсбург, Германия;

Гл. 7: О.В. Куделина, к.м.н., доцент, СГМУ, Томск.

П79

**Проектирование оптимальных социально-экономических систем в  
условиях турбулентности внешней и внутренней среды : Монография / под  
ред. Х. Висмета. — Москва : Экономика, 2017. — 512 с.**

ISBN 978-5-282-03513-1

Данная коллективная монография является результатом научного проекта «Проектирование оптимальных социально-экономических систем в условиях турбулентности внешней и внутренней среды», который реализуется сотрудниками Уральского федерального университета им. Б. Н. Ельцина при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 15-18-10014). Монография включает главы по моделированию и оптимизации системы здравоохранения, образования, пенсионной и инновационной системы

Книга будет представлять интерес для научных работников и специалистов, работающих в этой области, студентов, а также всех интересующихся данной проблемой.

УДК: 330.46:519.86

ББК 65.01в6

ISBN 978-5-282-03513-1

© Оформление, оригинал-макет  
«Издательство «Экономика», 2017



## Содержание

Введение.....	5
<b>Глава 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПТИМАЛЬНОЙ СОЦИОЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ .....</b>	<b>7</b>
§1. Структурные особенности и классификация социоэкономических систем.....	9
§2. Концепция оптимальности для социоэкономических систем.....	14
§3. Практические аспекты оптимизации социоэкономических систем....	15
§4. Сценарный прогноз динамики развития социально-экономических систем в условиях неопределенности внешней среды.....	26
§5. Теоретические основы имитационного моделирования оптимальных социально-экономических систем в условиях неопределенности внешней среды.....	36
<b>Глава 2. ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ ОПТИМИЗАЦИИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ....</b>	<b>50</b>
§1. Теоретико-методологические основы многоуровневого детерминированного динамического моделирования социально-экономических систем в условиях информационной неопределенности.....	51
§2. Формирование многоуровневых детерминированных динамических моделей социально-экономических систем в условиях динамичной внешней и внутренней среды.....	62
§3. Оптимизация гарантированного результата управления в многоуровневых детерминированных динамических моделях социально-экономических систем в условиях динамичной внешней и внутренней среды.....	98
<b>Глава 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА МАКРО- И МЕЗОУРОВНЕ.....</b>	<b>128</b>
§1. Анализ инновационной системы на мезо- и макроуровне в условиях турбулентности внешней и внутренней среды.....	128
§2. Структурирование факторов инновационной активности и методические особенности оптимизации эконометрических моделей оценки их влияния на мезоуровне.....	150
§3. Эконометрическое моделирование влияния социально-экономических подсистем на инновационную активность в условиях региональной неоднородности.....	160
§4. Прогнозирование потенциала прямых зарубежных инвестиций как фактора инновационной активности.....	170

<b>Глава 4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ДИНАМИЧНОЙ ВНЕШНЕЙ И ВНУТРЕННЕЙ СРЕДЫ.....</b>	<b>207</b>
§1. Анализ социально-экономической системы образования.....	207
§2. Моделирование развития системы образования при изменении макро- и мезоэкономических условий.....	249
§3. Имитационное моделирование системы образования в условиях изменения макро- и мезоэкономической ситуации.....	264
<b>Глава 5. ВОЗДЕЙСТВИЕ ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ РИСКОВ НА ФИНАНСОВУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ПЕНСИОННЫХ СИСТЕМ И МЕХАНИЗМ УПРАВЛЕНИЯ ИМИ.....</b>	<b>281</b>
§1. Анализ параметров социально-экономической пенсионной системы в условиях турбулентности внешней и внутренней среды.....	281
§2. Моделирование оптимальной социально-экономической пенсионной системы в условиях турбулентности внешней и внутренней среды.....	371
§3. Многофакторное прогнозирование пенсионных систем в условиях турбулентности внешней и внутренней среды.....	378
<b>Глава 6. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИИ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ЭКОНОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.....</b>	<b>408</b>
§1. Современные тренды в развитии социально-экономической системы здравоохранения в условиях меняющегося климата.....	408
§2. Теоретические основы и эмпирические подходы к моделированию воздействия климата на индикаторы здоровья населения и параметры экономического и социального развития на микро- и макроуровнях.....	414
§3. Эмпирические подходы к моделированию воздействия климата на индикаторы здоровья населения и к оценке социально-экономических последствий меняющегося климата.....	418
<b>Глава 7. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ. ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ.....</b>	<b>444</b>
§1. Теоретические основы организации здравоохранения и общественного здоровья.....	444
§2. Законодательные основы развития здравоохранения.....	462
§3. Характеристика системы здравоохранения на современном этапе...	464
§4. Пути оптимизации системы здравоохранения.....	498
Заключение.....	511

## ВВЕДЕНИЕ

Проблематика проектирования оптимальных социально-экономических систем актуальна для переходных режимов, в том числе для нестационарной российской экономики. Особенно это важно в условиях наблюдаемой динамической нестабильности внешней и внутренней среды.

Монография является результатом научного проекта «Проектирование оптимальных социально-экономических систем в условиях турбулентности внешней и внутренней среды», который реализуется сотрудниками Уральского федерального университета им. Б. Н. Ельцина при финансовой поддержке Российского научного фонда.

Фундаментальной научной проблемой исследования является построение оптимальных социально-экономических систем, стимулирующих социальное, экономическое и инновационное развитие на микро- и макроуровнях в условиях динамичной внешней и внутренней среды на основе применения передовых физико-математических методов.

Актуальность проектирования оптимальных социально-экономических систем связана с их функционированием в нестационарных нестабильных средах и необходимостью формирования их параметров в постоянно меняющейся риск-среде, позволяющих стимулировать социальное, экономическое и инновационное развитие. Применение передовых мировых достижений в области физико-математического и экономического моделирования позволит создать нестационарные технологии оптимизации и настройки параметров систем для повышения их эффективности и устойчивости к изменениям внешних условий, что обуславливает теоретико-методологическую актуальность решаемой проблемы.

Фундаментальной задачей исследования является разработка технологии проектирования оптимальных социально-экономических систем на основе авторских научных достижений в области имитационного физико-математического моделирования и новейших методик в области экономической теории и экономических систем.

Идея научной задачи исследования заключается в разработке системы динамических моделей проектирования параметров социально-экономических систем образования, здравоохранения и пенсионной на основе воздействия индикаторов – характеристик систем – на показатели социального, экономического и инновационного развития с применением

методов стохастической оптимизации, имитационного математического моделирования, физической статистики и эконометрики. Поставленная фундаментальная задача обладает высокой научной новизной.

Научная новизна сформулированной задачи определяется разработкой динамической технологии моделирования оптимальных параметров социально-экономических систем на основе новейших методик физико-математического и эконометрического моделирования и передовых компьютерных программ, включающих методы стохастической оптимизации, имитационного моделирования, физической статистики, позволяющих формировать оптимальные системы в условиях турбулентности внешней и внутренней среды и информационной неопределенности.

Введение и заключение к монографии подготовлены научным сотрудником А. А. Шилковым; глава 1, посвященная теоретико-методологическим основам проектирования оптимальных социально-экономических систем, – профессором, доктором Х. Висмет, кандидатом физико-математических наук В. А. Ларионовой; глава 2, анализирующая экономико-математический инструментарий оптимизации социально-экономических систем, – доктором физико-математических наук А. Ф. Шориковым; глава 3, характеризующая проектирование инновационной системы на макро- и мезоуровне, – кандидатом экономических наук О. С. Мариевым, доктором экономических наук И. М. Драпкиным, кандидатом экономических наук Е. В. Долженковой; глава 4, описывающая моделирование оптимальной социально-экономической системы образования в условиях динамичной внешней и внутренней среды, – доктором экономических наук Г. А. Агарков; глава 5, посвященная проектированию оптимальной социально-экономической пенсионной системы в условиях турбулентности внешней и внутренней среды, – кандидатом экономических наук А. Н. Неппом; глава 6, анализирующая проблемы и перспективы развития социально-экономической системы здравоохранения России в условиях меняющегося климата: теоретические основы и эконометрическое моделирование, – кандидатами наук В. В. Отращенко и О. В. Попова; глава 7, представляющая теоретические основы организации здравоохранения и общественного здоровья, оценку деятельности системы здравоохранения, методологические основы оценки эффективности здравоохранения, – кандидатом медицинских наук О. В. Куделиной.

## Глава 1

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПТИМАЛЬНОЙ СОЦИОЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

На функционирование национальных инновационных систем экономик до сих пор оказывает влияние спрос и предложение. В частности, для ряда товаров существует двойной рынок. На первом цены фиксированы, существует рациональное распределение товаров и государственное регулирование. На втором рынке гибкость цен определяется рыночным механизмом, регулирующим спрос и предложение. Система здравоохранения в России с гарантированным пакетом медицинских услуг, с одной стороны, и частными платежами – с другой, является ярким примером.

В целом в настоящее время во многих странах преобладают смешанные экономики, представляя собой экономику, в которой «социальные ценности и социальные взаимоотношения значимы и превосходят экономические ценности и взаимоотношения» [1, p. 1f].

Фактически Eatwell et al. [2] ссылаются на термин «социальная экономика» как «использование экономики при изучении общества». Это подразумевает поведенческое взаимодействие индивидуумов и групп через «социальный капитал», то есть возникающие социальные сети и нормы взаимодействия и доверия [3]; взаимодействие между человеческой деятельностью и окружающей средой: природной, городами и метрополиями, например, и экономикой в целом. Это включает взаимодействие и экономических агентов с «общественной» средой в результате создавшихся условий, таких как экономические законы, политика и регулирование, вводимые правительством с целью достижения определенных социальных и экономических целей.

Следовательно, исследование проблем доверия в финансовом секторе необходимо рассматривать через социально-экономическую систему, а также влияние человеческого фактора на окружающую среду и ее загрязнение. «Умный город» как часть городского планирования представляет собой сравнительно новую область в социальной экономике, включая управление окружающей средой, инновациями и, конечно, социальными системами безопасности, такими как пенсионные фонды и система здравоохранения.

Таким образом, в последние десятилетия «общественная» окружающая среда приобретает все возрастающую значимость и будет продолжать увеличивать эту значимость, принимая во внимание постоянно увеличивающиеся области общественного интереса.

Термины «социоэкономика» и «социальноэкономическая система» тесно взаимосвязаны и почти идентичны «социальной экономике» Davis и Dolfma, связывают это с ассоциациями, обеспечивающими социальную экономику относительно социоэкономики [1]. В то время как Ассоциация социальной экономики (ASE) подчеркивает роль социальных ценностей и социальных взаимоотношений в экономике, ориентированных на институционализм и энвэйроментализм среди прочих; общество по развитию социальной экономики (SASE) представляет собой, в частности, междисциплинарную организацию, включающую психологию и социологию [1, р. 4].

Очевидно, все эти системы касаются или включают области, находящиеся за пределами рыночной системы. Таким образом, пробелы в рыночном механизме заполняются другими планами и регулированием. Это требует теоретического обоснования. Более того, название раздела соотносится с «оптимальными» социальноэкономическими системами, таким образом, постулируя четкость определения «оптимальность». В экономической теории ссылаются на понятие оптимальности Pareto. Однако применение этого понятия в конкретном контексте, вне рыночной системы при совершенной конкуренции, потребует «практических» подходов, которые вероятны при особых условиях в конкретных социальноэкономических системах.

В разделе предпринята попытка охарактеризовать несколько примеров «оптимальных» социальноэкономических систем, включая тщательное рассмотрение понятия «оптимальность». Примеры включают аспекты системы здравоохранения, инновационного менеджмента и особенности «умных городов».

Хотя большинство публикаций в области социальноэкономических систем ссылаются на эмпирические исследования, подход данного раздела фокусируется на некоторых теоретических аспектах, необходимых при выполнении исследования в достаточно больших областях социальноэкономических систем. Не все, что, например, в контексте «умных городов» технически выполнимо, является автоматически экономически значимым и обоснованным. Подобное верно и в отношении создания социальных

систем безопасности. Проблемы, касающиеся «оптимального» гарантированного пакета для системы здравоохранения или «оптимального» уровня пенсий с учетом частных отчислений, требуют тщательной проработки. Таким образом, данная глава направлена на сокращение пробела между необходимостью теоретического обоснования для социально-экономических систем, с одной стороны, и важности данных систем в практическом отношении – с другой.

В следующем разделе обсуждаются особенности социальноэкономических систем с учетом классификации природы и степени государственного вмешательства. Данная классификация применима только к системам, которые поддержаны государственной политикой. Следовательно, акцентируется понятие оптимальности и той роли, которую она играет в различных контекстах социальноэкономических систем. Тщательно исследуются примеры социальноэкономических систем, кейсы; основная часть раздела посвящена оптимальности, рассматриваемой в различных исследованиях. В конце главы приводятся некоторые выводы.

### **§1. Структурные особенности и классификация социальноэкономических систем**

Одной из основных проблем, связанных с социальной экономикой в целом и социальноэкономическими системами в частности, является функционирование смешанных экономик: работает ли рыночный механизм в этих системах? Очевидно, другими словами можно задать вопрос относительно распределительного рыночного механизма в рамках соответствующих социальных проблем. Или является ли внедрение социальных аспектов в рыночную экономику более продуктивным, чем внедрение рыночной системы в социальную экономику? Таким образом, социальный контекст добавляется к рыночному [4], в то время как в ином случае рыночная система внедряется в социальную экономику.

При рассмотрении социальноэкономической системы возможны оба подхода. Системы социальной безопасности, например, внедряемые государством, соотносятся с рыночной системой: рынки должны адаптироваться к условиям, связанным с пенсионными фондами и системой здравоохранения, рыночная система встраивается в социальную экономику, связанную с социальной безопасностью, а также с городским планированием и другими областями.

С другой стороны, смешанные экономики с двойными рынками, как описано выше, представляют примеры для второго случая: социальные параметры интегрируются в рыночную экономику, влияя на ее функционирование. Васильев и Висмет, рассматривая смешанные экономики как генерализации рыночной экономики, анализируют этот случай в формальном контексте Arrow-Debreu экономики [5]. Существование и эффективность равновесия исследуется с учетом параметров двойного рынка, естественным образом влияющего на равновесное распределение и его свойства.

Подобный подход существует и в инновационном менеджменте, например. В этом случае рамочные условия, направленные на ускорение инновационной активности, влияют на рыночную систему.

Эти точки зрения и примеры показывают, что социоэкономические системы различны, в частности, соответственно релевантности и влияния социальных проблем. Следовательно, важным вопросом является, до какой степени и как эти структурные свойства влияют на функционирование рыночного механизма.

Это вопрос имеет как нормативное, так и позитивное значение: позитивное в плане того, что экономисты хотят описать и объяснить проблемы, связанные с социоэкономической системой, которые, возможно, ограничивают рыночный механизм. В нормативном аспекте экономисты стремятся дать совет, как модифицировать структуру и параметры социально-экономической системы с целью улучшения распределения рыночного механизма, учитывая цели социоэкономической системы.

### **Классификация социоэкономических систем**

Так как социоэкономические системы, очевидно, относятся к социальным системам и обществу в целом, то в большинстве этих систем определенную роль играет государство и правительство. Кроме того, социальный капитал в форме доверия государству или важным институтам, таким как банки, является ключевым при поддержке процветающего общества. Более того, с помощью регулирования государство достигает определенных целей, например, более чистой окружающей среды через политику по охране окружающей среды.

Следовательно, природа и степень влияния общественного сектора на различные социоэкономические системы помогает классифицировать эти системы.



### **Обзор развития социоэкономических систем**

Существуют важные социоэкономические системы, в которых государство видит развитие. Эти системы включают уровень доверия, в частности доверие государству, демократии, банковской системе, интеграции мигрантов в общество.

Индикаторы измерения доверия обеспечиваются, например, степенью участия в выборах, ставками межбанковских кредитов и принятием интеграции мигрантов населением. Государство обычно воздерживается от чрезмерного вмешательства в подобные системы. Однако оно указывает или ссылается на необходимость нормативного регулирования, например, миграции.

Эмпирические исследования в данном контексте обычно ссылаются на важность доверия и надежности к определенным институтам. Проблема оптимальности не выходит за рамки простого утверждения о слишком низком уровне доверия, например. По этой причине эти системы, хотя и имеющие важное значение для общества, здесь не рассматриваются.

### **Непосредственное влияние определенных социоэкономических систем**

Контекст городского планирования, или, точнее, контекст «умных городов», представляет собой пример иного уровня влияния государства, обычно в тесной взаимосвязи с частным сектором, который, в свою очередь, поставляет необходимое техническое оборудование.

В этих случаях государство определяет составляющие «умных городов» с учетом финансовых возможностей города. Это часто единственная прямая связь с экономикой данной социоэкономической системой. Такие проблемы, как оптимальность, обычно не играют большой роли при рассмотрении. Конечно, это не исключает возможности создания рабочих мест или совершенствования важных социальных процессов.

Обсуждение конкретного признака «умного города» в параграфе 3 данной главы показывает, однако, что эти экономические аспекты не должны игнорироваться. При обсуждении использования приемлемых условий в следующих подразделах экономический потенциал существующей сети учреждений города будет выделен особо. Таким образом, «умный город» может также создать «умное использование» его существующей инфраструктуры.

### **Развитие социэкономических систем в зависимости от окружающих условий**

Для того чтобы достичь определенной цели, например снижения загрязнения окружающей среды или содействия инновационной активности, государство может создать определенные условия с целью соответствующего управления поведением экономических агентов.

Однако для того чтобы обратиться к большому количеству агентов, классической командно-контролирующей политики будет недостаточно, так как политически и финансово невозможно отследить и проконтролировать экономическое поведение большого количества домохозяйств и производителей. По этой причине должны быть использованы окружающие условия, которые направляют индивидуальных агентов к желаемому решению.

Решающая разница подобных окружающих условий по сравнению с командно-контролирующей политикой состоит в более либеральном подходе к окружающим условиям: регулирование позволяет индивидуальным агентам адаптировать соответствующее поведение, не прилагая усилий.

Типичным примером является немецкий Акт о возобновляемых энергетических источниках [6]. Согласно акту любому лицу, частному домохозяйству или компании, производящей электроэнергию из возобновляемых источников и подающих ее в систему открытых сетей, предлагается фиксированная компенсация за кВт/час потребляемой электроэнергии.

Окружающие условия, связанные с данным актом, были настолько успешны в терминах доли участников, что недавно было изменено регулирование с целью снижения их привлекательности и введения ограничения на новые установки, которые также значительно повысили импорт фотоэлектрических модулей из Китая, например.

В данное время концепция Расширенной ответственности производителя (EPR) применяется в довольно небольшом количестве контекстов [7–9]. Так как производители также зависят от клиентов, потребители тоже должны быть интегрированы в политику, касающуюся окружающей среды. Однако для того чтобы обратиться к большому количеству потребителей, должны быть задействованы окружающие условия. В этой связи существует интересный пример так называемой Интегрированной политики по окружающей среде [10].

Еще один пример таких стимулирующих окружающих условий можно найти в системах инновационного управления. В связи с глобальным

экономическим и финансовым кризисом, высокоразвитые индустриальные страны поняли, что новые конкурентные окружающие среды в значительной степени влияют на их экономические системы. И это не только демографическое развитие, которое привлекает значительное внимание.

Климатические изменения и высокие колебания мировых рыночных цен на сырую нефть, например, требуют других подходов. Инновационные технологии и услуги, продолжающие развиваться через бесконечный поток инноваций, считаются необходимыми и способными обеспечить адекватные ответы на эти глобальные вызовы [11].

Инновационные товары появляются в результате доступности знаний, соответствующей научной деятельности и трансфера исследований в инновации, которые находят свои локальные и глобальные рынки. Важными проблемами остаются адекватные окружающие условия, стимулирующие высокие технологии или улучшающие поставку инноваций. В этом состоит роль инновационного менеджмента как социоэкономической системы.

Напомним, необходимо обращаться к большому количеству потенциальных «изобретателей» и заботиться о стартапах через соответствующие окружающие условия. Именно это и происходит во многих странах в контексте «политики продвижения предложений» с целью стимулирования инновационной деятельности [12–16].

Однако в этом случае необходимо принимать во внимание роль спроса на инновации: не бывает инноваций без адекватного спроса. Таким образом, политика, ориентированная на предложение, взаимодействует со спросом, обеспечивая ко-эволюцию спроса и предложения. Эти предположения способствуют интересному анализу соответствующей социоэкономической системы «Инновации» или инновационного менеджмента [17–18].

Для этого класса социоэкономических систем важно рассмотрение оптимальности, в частности политики окружающей среды. Однако трудно определить оптимальные ценности, как это было четко видно на примере Акта возобновляемых источников в Германии, о котором шла речь выше.

### **Социоэкономические системы, находящиеся под непосредственным контролем государства**

Социоэкономические системы, принадлежащие к этому классу, включают системы социальной безопасности, в частности пенсионные фонды и пенсионные системы и системы здравоохранения. Государство опре-

деляет основы этих систем, такие как доли налогов работодателей и работников, уровень пенсионных выплат или пакет гарантированных услуг, предоставляемых системой здравоохранения. Эти цели необходимы для устойчивой социальной системы безопасности, которая сама по себе необходима для поддержки доверия государству.

Оптимальность важна в этих системах, однако, принимая во внимание более или менее фиксированные основные параметры этих систем (гарантированный пакет медицинских услуг, доля пенсионных выплат), оказывается, что проблемы оптимальности относятся больше к внутренней структуре этих систем. Отвечая на вызовы демографического развития, глобализации и миграционного кризиса, угрожающих долгосрочной стабильности этих систем, внутренняя эффективность и оптимальность приобретают все большую важность.

### **§2. Концепция оптимальности для социоэкономических систем**

Рассмотрев классификацию социоэкономических систем относительно природы и степени вмешательства государства, необходимо сделать следующий шаг в исследовании аспектов оптимальности в них.

В экономической теории хорошо известна концепция оптимальности или эффективности Pareto, которая дает основу последующего обсуждения. В концепции «достижимого распределения» как решения фундаментальных экономических проблем, касающихся распределения, критерий Pareto определяет оптимальность следующим образом: «Достижимое распределение оптимально (Pareto) и эффективно (Pareto), если не существует другого оптимального распределения, которое улучшает ситуацию, хотя бы у одного индивида без ухудшения ситуации у другого». Первая теорема экономики благосостояния характеризует равновесие рынка как оптимальное распределение. Таким образом, рыночный механизм при условии совершенной конкуренции – это механизм распределения, соответствующий оптимальному распределению (Pareto).

Однако, как уже подчеркивалось ранее, социоэкономические системы находятся в какой-то степени вне рамок рыночного механизма: доверие, окружающая среда, здоровье и много другое, что является важным в социоэкономических системах, не является «рыночным» в классическом понимании. Более того, аспекты асимметричной информации, неблагоприятный выбор и моральный риск представляют дополнительные пробле-

мы для рыночной системы в различных социоэкономических системах. По этим причинам рыночный механизм не может привести к оптимальным результатам в этих контекстах.

Следовательно, государство вынуждено выбирать определенные критические параметры этих систем. Это касается, например, доли валовых расходов на исследование и разработку (GERD), доли расходов здравоохранения в ВВП, уровня пенсионных выплат и многого другого. Это, конечно, не исключает возможности того, что эти параметры иногда регулируются с целью дальнейшего развития общества и экономики.

Однако за пределами этих основных параметров остается много возможностей для оптимизации социоэкономических систем. Причина этого, следуя экономической теории, состоит в том, что эффективное распределение также является экономически эффективным, так как цели распределения достигаются с минимальными издержками. Это относится и к подсистемам: если цели подсистемы, например системы здравоохранения, могут быть достигнуты при низких издержках, не влияя на ситуацию во всех других сферах экономики, тогда соответствующее распределение не может быть оптимальным.

Это свойство дает возможность для исследования оптимальных социоэкономических систем, что является темой следующего раздела.

### **§3. Практические аспекты оптимизации социоэкономических систем**

В этом разделе обсуждаются проблемы оптимальности для различных примеров социоэкономических систем. Например, изучение кейсов соотносится с конкретными системами в России и Германии. Целью является демонстрация того, что социоэкономические системы могут быть усовершенствованы с помощью соответствующих мер, включая реструктуризацию. Из-за ограниченного объема раздела не все релевантные аспекты данных кейсов могут быть представлены в исследовании.

#### **Система здравоохранения [Россия]**

##### ***Современная ситуация в России***

Российская система здравоохранения испытывает значительные реформы с начала 1990-х годов. Традиционная советская система Семашко была заменена на менее централизованную и страховую систему, которая,

в свою очередь, дополнялась и модифицировалась несколько раз с целью укрепления конкуренции для улучшения качества медицинских услуг, открытого равного доступа к качественному медицинскому обслуживанию, в частности.

Данное регулирование основывалось на модели управляемой конкуренции, при которой частные страховщики получают фонды для своих клиентов из фондов регионального медицинского страхования (МНП) и используют эти ресурсы для оплаты провайдеров медицинских услуг. В своем отчете о российской системе здравоохранения OECD утверждает, что «эта конкурентная модель не работает так, как это предполагалось, когда система создавалась в 1990-х годах» [19]. Они также упоминают, что «при этих условиях, как оказалось, недостаточно пространства для конкуренции, улучшающей эффективность. Страховщики просто действуют как канал для перемещения фондов из региональных фондов медицинского страхования провайдером, добавляя издержки системе с незначительной выгодой» [19].

В результате того, что эти реформы не соответствовали ожиданиям [19–20], работодатель обычно выбирал страховую компанию, не оставляя выбора работникам, и медицинские фонды вынуждены были заключать контракты во всеми провайдерами; Закон об обязательном медицинском страховании 2011 года вступил в силу 1 января 2011 года. Согласно закону, центральное правительство стало играть ведущую роль в управлении развитием системы здравоохранения. Кроме того, рыночные силы должны получить больше полномочий в соответствии с этим регулированием. Это поощряет граждан выбирать свою страховую компанию. Более того, медицинские фонды могут сейчас заключать контракты с избранными провайдерами, однако все цены на услуги, как и ранее, регулируются на федеральном уровне. В частности, эти изменения означают стимулирование конкуренции за лучшее качество медицинского обслуживания.

Согласно новому соглашению об обязательном страховании, потребители имеют право выбора и изменения страховой компании, выбора врача или конкретного лечебного учреждения. Чтобы привлечь больше клиентов, страховая компания может предложить им наилучший пакет услуг и, кроме того, защиту прав застрахованных.

Тем не менее, несмотря на эти серьезные попытки, все еще существует существенный недостаток финансовых средств, и окружающие условия не благоприятствуют усиленной конкуренции. Таким образом, существу-

ет возможность оптимизации российской системы здравоохранения [21], что представляет предмет более серьезной дискуссии.

### ***Что необходимо сделать?***

Основная проблема российской системы здравоохранения и фактически систем здравоохранения еще нескольких стран (cf. Subsection 5.2. – кейс Германии) находится в окружающих условиях, при которых нет возможности адекватного использования конкуренции, что не мотивирует к принятию решений, ведущих к более эффективной системе.

Уровень финансовых средств, используемых в системе, зависит от решений правительства. Принимая во внимание доли ВВП, потребляемые системами здравоохранения, возможен недостаток финансовых средств. Но, подобно гарантированному пакету услуг, предоставляемому системой здравоохранения, эти основные параметры должны быть вынужденно приняты ввиду отсутствия альтернативных распределительных механизмов.

Таким образом, необходима реструктуризация окружающих условий. Как же улучшить использовать конкурентные силы?

**а) Усиление роли медицинских страховых компаний.** Данные компании должны быть посредниками между индивидуумами и основными учреждениями системы здравоохранения, врачами, поликлиниками и больницами. Они должны предоставлять информацию о доступном лечении и заботиться о соответствующих контрактах со специализированными больницами, и, как страховые компании, они должны предлагать лечение с гарантированным пакетом. Каковы же необходимые окружающие условия, чтобы эти фонды медицинского страхования функционировали оптимально как часть социоэкономической системы?

Типичными инструментами компаний медицинского страхования в конкурентной среде являются страховые премии, уровни обслуживания и качество услуг. Так как люди разные и имеют различные потребности, страховые медицинские фонды могли бы предложить расширенный пакет услуг за более высокие премиальные. В качестве альтернативы они могли бы повысить качество своих услуг также за повышенные премиальные.

Однако для того чтобы избежать обслуживания только наиболее перспективных клиентов, страховые компании обязаны принимать любого заявителя. С помощью централизованных медицинских фондов государ-

ству необходимо заботиться о том, чтобы обходиться со страховыми компаниями на равных, принимая во внимание риски для здоровья их клиентов [21] по опыту Центрального медицинского фонда в Германии.

**б) Мотивирование индивидуумов к принятию конкурентных преимуществ.** Для того чтобы повысить уровень конкуренции, необходимо, чтобы индивидуумы могли свободно выбрать тот медицинский страховой фонд, который они предпочитают, или переключиться при желании на другой фонд. Иначе у этих фондов нет необходимости конкурировать за клиентов, и конкуренция отсутствует. С другой стороны, как уже отмечалось, необходимо заставлять страховые фонды принимать любого заявителя.

**в) Государство усиливает окружающие условия.** Роль государства в этой системе сводится до уровня мониторинга за соблюдением правового регулирования. Более того, необходимо создать Центральный медицинский фонд для компенсации страховых фондов при неблагоприятном выборе с учетом их рисков. Безусловно, это требует учреждения и поддержки соответствующей информационной системы.

Кроме того, государство может ввести обязательное членство в одном из медицинских страховых фондов. Теоретическое рассмотрение показывает, что это требование может помочь стабилизировать систему здравоохранения [22].

Конкуренция среди медицинских страховых фондов за клиентов может улучшить систему здравоохранения в России. Страховые фонды могут оказывать давление на провайдеров медицинских услуг; необходимо их согласие на большее количество и более высокое качество предлагаемых услуг.

Следовательно, организовав конкурентную среду среди медицинских страховых компаний с помощью соответствующих окружающих условий, можно улучшить распределение ресурсов в системе здравоохранения, одной из важных социальноэкономических систем в любом развитом обществе.

### **Инновационный менеджмент**

#### ***Медицинский сектор: основные положения***

Нарастающая глобализация, усиливающая конкурентное давление, остается движущей силой при попытках экономического продвижения на основе High-Tech. Проблема касается приемлемых окружающих условий, стимулирующих инновации. Стратегии Hi-Tech являются результатом доступных знаний, соответствующей исследовательской деятельности и



трансфера данных в инновации, которые находят свои как локальные, так и глобальные рынки. Какова же роль университетов и других исследовательских учреждений в данном контексте? Какие институциональные факторы могут блокировать инновации? Это те два вопроса, которые рассматриваются в данном контексте. В связи с этим в данном подразделе будут исследоваться институциональные факторы, которые наносят ущерб инновациям в Германии. Идея состоит в том, чтобы показать потенциал совершенствования современной системы.

Относительно инновационной деятельности Германия обычно занимает среднее место среди ведущих индустриальных стран. Так, в 2017 году Германия занимала 9-е место, по данным Глобального индекса инноваций – 2017 [23]. Слабые стороны Германии указывают, что ее инновационный климат находится на уровне ниже среднего, с немного скептическим отношением к предпринимательским рискам и нормативно-правовым аспектам, которые иногда затрудняют внедрение инноваций вместо того, чтобы поддерживать соответствующие усилия.

Немецкая система здравоохранения представляет пример такой ситуации. С точки зрения демографического развития, Германия, конечно, могла бы получать прибыль от инноваций, поддерживая стареющее общество с увеличивающимся преобладанием хронических болезней. Ожидаемые финансовые последствия для системы здравоохранения можно было бы снизить или даже компенсировать, создав прибыльный сектор медицинских инноваций в этой области. Так как демографические проблемы преобладают во многих странах, то возможность экспорта технологий может поддержать это ожидание.

Социальные изменения в Германии, инициированные через демографическое развитие, можно охарактеризовать следующим образом: все больше и больше пожилых людей остаются в сельской местности, в то время как молодое поколение перемещается в крупные города. Таким образом, становится все труднее гарантировать адекватное медицинское обслуживание для сельских районов Германии. Технологии, которые помогают трансформировать жизнь пожилых людей и которые дают, в частности, некоторую степень независимости, являются острой необходимостью не только в Германии.

#### ***Современная ситуация в Германии***

Немецкий медицинский сектор делится на амбулаторный и стационарный, как и во многих других странах. Разделение берет свое начало в немецкой медицинской системе конца XIX века. Однако, оказывается, очень

трудно преодолеть это разделение сегодня, хотя это было бы выгодно для большинства стейкхолдеров и стимулировало бы инновации в медицине, в частности для пожилых людей. Каковы же релевантные проблемы?

Предпочтение должно быть отдано телемедицине, которая, несомненно, может восполнить пробел между амбулаторным и стационарным секторами: врач в амбулаторном секторе, консультируя пациента с помощью телемедицины и решающий его госпитализировать, может продолжать консультировать его через телемедицину после выписки из стационара.

Телемедицина особенно релевантна при хронических заболеваниях, которые преобладают в стареющем обществе и требуют постоянного мониторинга. В сочетании с таким фактором, как низкое предложение медицинских услуг в сельской местности, но тем не менее учитывая высокий спрос, телемедицина и связанные с ней инновации остро необходимы.

Однако эти новые технологии трудно внедряются в Германии. Причиной является то, что выгоды от этих технологий принадлежат как обществу в целом, так и отдельным индивидуумам в частности, но издержки остаются у медицинских учреждений, предлагающих эти услуги, в основном из-за неясных и нерешенных проблем, связанных с разделением медицинской системы. Следовательно, медицинские учреждения как амбулаторного, так и стационарного секторов в основном воздерживаются от принятия этих новых технологий, так как они не могут быть уверены, что получат компенсацию за свои издержки.

Так как оба сектора медицинской системы имеют разные возможности относительно инвестиций и оплаты услуг, складывается парадоксальная ситуация: технологии, которые могли бы заполнить пробел между секторами, не используются только потому, что существует этот пробел.

Имеются, конечно, и другие последствия. Современная ситуация не обеспечивает значительной инициативы для инноваций, которые могут повлиять как на амбулаторный, так и стационарный секторы немецкой медицинской системы, и, конечно, эти инновации могли бы помочь изменить и существенно модернизировать здравоохранение, отвечая на вызовы, связанные со старением общества, в котором многие пожилые люди живут вне крупных городов [24].

### ***Что необходимо предпринять?***

Структура компенсирования медицинского обслуживания должна быть модернизирована с целью применения технологий, которые пересекают границы двух секторов. И в конечном счете эта невидимая стена

между секторами будет разрушена. Она препятствует распространению инновационных технологий в медицинском секторе и, таким образом, препятствует инновационной активности в этом секторе, что становится очень важным в связи с развитием и изменениями в обществе.

Этот кейс показывает, насколько устаревшие институциональные факторы могут повлиять на распределение ресурсов социоэкономической системы. Этот пример также показывает, что возможны трудности при изменении существующего институционального регулирования в дальнейшем. Поэтому желательно продумывать институциональные проблемы, которые по естественным причинам очень важны для социоэкономических систем. Государственная часть социоэкономической системы, в этом случае организационная структура системы здравоохранения, как правило, нуждается в большем количестве времени для реагирования, чем частный сектор, где инновационная деятельность берет свое начало.

Вышеописанный кейс является не единственным примером. Большое количество подобных примеров можно найти в социоэкономических системах по всему миру.

## **Умные города [Россия и Германия]**

### ***Концепции умных городов в институциональных терминах***

Этот кейс относится к одной из характеристик умного города. Он в меньшей степени относится к применению и внедрению цифровых технологий для управления имуществом города, в частности для улучшения эффективности услуг, которые может предложить город. Этот кейс скорее относится к роли окружающих условий, определяющих улучшение этих услуг. Внимание, таким образом, сосредоточено на экономической роли, которую играют или могут играть научные учреждения, в зависимости от адекватных окружающих условий.

Научные учреждения оказывают существенное влияние на развитие и рост регионов. Оно состоит из экономического и социального влияния, начиная от предложения занятости и подготовки до обеспечения качественными трудовыми ресурсами, информацией и трансфера знаний и технологий, а также культурных возможностей [25].

Это же верно, в частности, и для университетов и больниц при университетах с их набором различных дисциплин по различным областям

и привлечением дополнительных исследовательских учреждений при интенсивном взаимодействии. При рассмотрении данной ситуации возникает вопрос: как максимально разумно использовать такое учреждение, как университет или университетская больница, в которых нуждается крупный город? Термин «разумно» относится, конечно, к экономическому влиянию, которое связано с учреждением, к эффективности социоэкономической системы городской структуры. Наилучшее использование относится к любой попытке повышения эффективности с учетом критерия Pareto.

### **Некоторые предварительные методологические замечания**

Прежде чем дать ответы на вопросы, необходимо классифицировать различные потенциальные эффекты. Прежде всего это так называемые эффекты спроса, показывающие ресурсы институционального потребления, так как они включают медицинский и административный персонал, обучают и готовят студентов-медиков, им необходимо предоставлять огромное количество медицинских услуг и они постоянно нуждаются в ремонте оборудования и зданий или инвестициях в новые.

Наиболее сложно исследовать так называемые эффекты предложения. Они, в частности, относятся к привлекательности институтов, благодаря их исследовательской деятельности или качества выпускников, окончивших эти учреждения с академической степенью, по сравнению с государственными и частными исследовательскими институтами, расположенными поблизости от университетской больницы, что представляет эффект распространения знаний.

Данный кейс фокусируется на эффектах спроса, которые включают, однако, и эффекты спроса, связанные с институтами, привлекаемыми через университетскую больницу. При сравнении этих эффектов в различных регионах и странах можно рассмотреть и окружающие условия или релевантность сильных эффектов предложения. Во-вторых, необходимо исследовать требуемые условия оптимального регионального влияния, приводящего к существенным эффектам занятости или высокой исследовательской активности. Это позволило бы оптимизировать окружающие условия для университетской больницы и разумно использовать этот институт.

Методология характеризуется анализом заболеваемости и определяется кейнсианским множительным анализом с целью обеспечить структуру для обнаружения и определения количества нескольких региональных

экономических эффектов и применить этот анализ к университетским больницам в Германии и России. Количественный анализ показывает важность этих институтов для регионального экономического развития. Разница между величиной различных множителей зависит от разницы релевантных окружающих условий, таким образом давая возможность определения последствий.

Анализ является результатом исследования в медицинском университете Лейпцига (UML) в Германии и Сибирском государственном медицинском университете (СГМУ) в Томске, Россия. Оба учреждения имеют долгую историю как исследовательские институты; UML более крупный по количеству сотрудников и студентов, однако СГМУ обслуживает более обширную территорию, чем UML. Более того, эти регионы различны относительно климата, географических условий и плотности населения.

#### ***Медицинский университет Лейпцига (UML)***

Модель влияния фокусируется на UML в 2009 году, включая Факультет медицины (Медицинскую школу) Лейпцигского университета и учебную больницу. Медицинский факультет Лейпцига был основан в 1415 году, вскоре после основания университета в 1409 году. Таким образом, университет Лейпцига является одним из старейших университетов в Европе.

Штат сотрудников Факультета медицины и университетской больницы, насчитывающий 5 117 человек, расходы на материалы и здания, составляют основу расчета различных эффектов. 3 129 студентов клинической и стоматологической медицины представляют еще одно основное направление в данной модели.

В Лейпциге находятся несколько исследовательских центров, благодаря существованию университетской больницы и получению дополнительных доходов. 780 человек из этих институтов, включая два института Max Planck и один Fraunhofer, входят на равных в данный анализ. Дальнейшие косвенные эффекты являются результатом дополнительных доходов и аутсорсинговых институтов, которые непосредственно связаны с университетской больницей, таких как Кардиологический центр Лейпцига, основанный в 1994 году.

Более того, участники медицинских конгрессов и ярмарок также учитываются при подсчете эффектов. Медицинские ярмарки проходят в основном в Лейпциге, благодаря его репутации медицинского города с богатыми традициями, сформированными университетской больницей и различными неуниверситетскими исследовательскими центрами.

Другие институты, обеспечивающие предложения для студентов, например, библиотеки и обслуживание, однако, не включаются в анализ, хотя и используются 2 129 студентами-медиками. Так как количество студентов-медиков составляет только 8,7 % от общего количества студентов, этот эффект не учитывается; в отличие от оценки всего университета, исследование фокусируется на эффектах медицинской школы и учебной больницы в целом.

Регионом исследования является Федеральная земля Саксония, одна из 16 федеральных земель Германии с населением 4,2 миллиона жителей и территорией около 18 тысяч квадратных километров. Все эффекты от занятости и доходов, анализируемые в данном исследовании рассчитаны для Федеральной земли Саксонии.

### ***Сибирский государственный медицинский университет (СГМУ)***

Каждый регион России имеет центральную больницу для взрослых (500–1000 коек) и центральную больницу для детей (300–600 коек), которые принимают для консультирования сложные случаи из региональных больниц и поликлиник, так как они предназначены для предоставления услуг всему населению региона. Там представлены все специальности и подспециальности, а квалификация персонала и предлагаемой помощи более высокие, чем на муниципальном уровне.

Кроме того, в регионах Российской Федерации также существуют медицинские учреждения высшего образования. Одним из них является СГМУ в Томске, обслуживающий Томскую область с населением примерно 1 миллион жителей и территорией почти 317 тысяч квадратных километров.

В настоящее время СГМУ – один из лидирующих медицинских университетов в России. Его история начинается с 1878 года, когда император Александр II основал первый университет в азиатской части России. Императорский Томский университет был открыт в 1888 году с одним факультетом – медицинским. Интересно, что университет первоначально был основан как исследовательский и учебный центр.

СГМУ включает различные исследовательские центры, фокусированные на молекулярной медицине, биоинженерии, лазерных технологиях и др. [26]. Исследовательские центры обеспечивают применение современных методов при выполнении клинических и академических исследований и нацелены на создание интегрированной системы исследований и инноваций совместно с зарубежными учеными.

Основа для расчетов различных экономических эффектов обеспечивается 2 369 сотрудниками и 2 564 студентами клинической и стоматологической медицины. Данные предоставлены на 2013 год.

#### ***Анализ***

Анализ основан на специальной модели влияния, анализа заболеваемости, рассматривающего потоки расходов и их распределительное влияние, а также помогающего определить эффекты от непосредственного дохода, потребления и занятости. Модель также применима для эффектов спроса UKL в Германии и СГМУ в России. Институтами считаются потребители различных вложений. Эти вложения состоят из расходов на здания, материалы, персонал и др. за один год. Таким образом, целью анализа является влияние этих расходов на региональную экономику. В частности, этот анализ фокусируется на эффектах занятости, включая непосредственных сотрудников (штат университетской больницы), вспомогательный штат (штат, оплачиваемый из сторонних фондов, штат фирм-поставщиков, а также штат исследовательских центров и дополнительный доход) и вынужденные сотрудники, нанимаемые с учетом расходов на персонал.

Результаты показывают, что в UML коэффициент занятости равен приблизительно 2, а у СГМУ – примерно 1,5, учитывая, что каждая ставка полной занятости в больницах приводит к дополнительной ставке полной занятости в окрестностях UML и к дополнительной ставке частичной занятости в СГМУ. Более глубокий анализ показывает, что UML преуспевает в привлечении большего количества исследовательских институтов, хотя СГМУ поддерживает больше сотрудников в сфере поставок [27].

#### ***Заключение***

Таким образом, анализ показывает существенную разницу относительно экономических эффектов, происходящих от университетских больниц. Конечно, разнообразие факторов обуславливает эти различия, среди которых локальные характеристики, такие как плотность населения. Но вне этих фиксированных факторов существуют и другие, на которые могут влиять решения проводимой политики. В частности, для исследовательских институтов должно быть более привлекательным сотрудничество с СГМУ и создание центров в регионе СГМУ.

Это именно та точка, где концепция умных городов приобретает актуальность: тщательно адаптируя окружающие условия для таких институтов, как университетские больницы, можно добиться «умного» использования этих институтов, повысить эффективность, включая оптимизацию социоэкономических систем.

Проведенный анализ начинается с переноса и применения из экономической теории концепции оптимального распределения в практические ситуации в контексте социоэкономических систем. Такие системы, как инновационный менеджмент, социальная безопасность, управление городской и окружающей средой и др., функционируют по крайней мере частично за пределами рыночного механизма, и таким образом оптимальность достигается вне его пределов. Однако совершенствование эффективности обычно возможно через адаптацию окружающих условий, включая институциональные факторы.

Следовательно, необходимо тщательно рассматривать окружающие условия, в которых действуют эти системы. Кейсы, описанные в этой главе, обеспечивают рассмотрение этих проблем и демонстрируют потенциал для улучшения без необходимости вложения большого количества денег.

Однако, указывая на некоторые институциональные барьеры, которые сложно преодолеть, анализ также показывает, что необходимо создавать оптимальные окружающие условия для новых социоэкономических систем прямо сейчас. Причина, как показывает опыт, в том, что изменение данной институциональной структуры является возможным, но трудоемким процессом. Таким образом, существует некоторая взаимозависимость в решениях по созданию социоэкономических систем.

### **§4. Сценарный прогноз динамики развития социально-экономических систем в условиях неопределенности внешней среды**

Управление социально-экономическими системами сопряжено со значительными трудностями, связанными как со сложностью самих систем, характеризующихся большой совокупностью элементов, взаимосвязей между ними и внешней средой, нелинейностью протекающих в них процессов и неточностью количественных параметров, так и высокой степенью неопределенности результатов управляющих воздействий на них. Одной из важнейших стратегических задач, стоящих перед государством на настоящем этапе, является повышение эффективности управленческих решений при регулировании социально-экономических процессов в условиях динамично меняющейся внешней среды.

Выбор стратегии развития социально-экономической системы должен базироваться на системном научном прогнозировании поведения систе-



#### §4. Сценарный прогноз динамики развития социально-экономических систем

---

мы в будущем с учетом ретроспективной информации, существующих закономерностей ее динамики, эндогенных и экзогенных связей и возможных альтернативных путей развития. Сценарное прогнозирование является одним из наиболее эффективных инструментов для исследования поведения сложных слабоструктурированных систем в условиях неопределенности.

Цель сценарного прогнозирования – в описании возможных вариантов развития системы при различных изменениях внешней среды с указанием вероятности их реализации. Как правило, разрабатываются несколько альтернативных вариантов развития событий – сценариев. Главный вопрос, на который дает ответ метод сценарного прогнозирования, – это каково будет состояние системы в будущем, если сложится та или иная ситуация в настоящем. Сценарий как гипотетический конструкт, построенный на основе причинно-следственных связей и закономерностей, не является подробным описанием будущего, он выявляет возможные тенденции и тренды развития сложных систем и их элементов в зависимости от изменений факторов внешней среды и управляющих воздействий на систему.

Впервые метод сценариев был развит для разработки стратегии военного планирования в 1950-х гг. Позже, в 1970-х гг., известная мировая компания Shell с успехом применила этот метод для формирования сценарных прогнозов для энергетического рынка. В этой связи нельзя не упомянуть Пьера Уэка и Тэда Ньюленда, которые заложили концептуальные основы метода и показали его эффективность при принятии решений в условиях динамично меняющейся экономической и политической ситуации в мире [28]. В 1972 г. вышла книга, посвященная использованию метода сценарного прогнозирования для моделирования экспоненциального экономического и демографического роста в условиях ограниченности ресурсов [29]. В течение последующих десятилетий сценарный подход доказал свою состоятельность в различных областях исследований, таких как стратегическое планирование в корпоративных структурах [30-33], формирование стратегии регионального развития [34; 35] и территориального планирования [36; 37], прогнозирование климатических изменений [38], развитие глобальных рынков, таких как энергетический [39], продуктовый [40], фармакологический [41] и др., а также прогнозирование социально-экономических систем [42-46].

В основе метода сценарного прогнозирования лежит предположение, что будущее сложной системы зависит от многих факторов, которые опре-

деляют состояние системы на исследуемом временном горизонте. Сценарий показывает, как будет меняться состояние системы на протяжении периода прогнозирования под воздействием внешних условий, которые также меняются с течением времени. В этом смысле сценарий представляет собой ментальную карту с множеством ветвей, каждая из которых отражает альтернативные пути развития сложной системы.

Совокупность всех возможных вариантов развития системы составляет пространство сценариев, которое графически часто изображается в виде набора воронок, вершины которых лежат в одной точке, характеризующей состояние системы в настоящем, а основания воронок в виде окружностей символизируют возможные состояния системы в будущем.

В отличие от обычных прогнозов, в сценарном прогнозировании прорабатываются все возможные варианты развития системы с учетом рисков и условий перехода системы в новые состояния. Из всего спектра сценариев выделяют те, которые приводят к наиболее оптимальному состоянию системы в будущем (рис. 2.1). Для исследователя важно не только будущее состояние системы, но и путь трансформации системы в это состояние. В этой связи большое значение имеют ключевые факторы внешней среды, которые играют решающую роль на том или ином этапе преобразования системы. Все изменения внешней среды в процессе развития системы также обосновываются и учитываются при построении сценария.

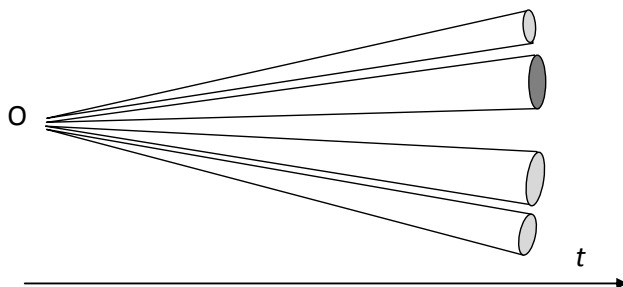


Рис. 2.1. Графическое представление пространства сценариев развития сложной системы

Таким образом, сценарное прогнозирование является мощным инструментом, который позволяет не только сконструировать будущее, но

#### §4. Сценарный прогноз динамики развития социально-экономических систем

---

и выстроить целесообразные и эффективные стратегии достижения целей, что является необходимым компонентом систем поддержки принятия управленческих решений в условиях неопределенности внешней среды и ограниченности ресурсов. Степень доверия к результатам сценарного прогнозирования зависит от принципов, на основе которых создается прогноз развития системы, от обоснованности выдвинутых при построении сценариев предположений и полноты учета внешних факторов и особенностей системы, в том числе внутренних взаимосвязей элементов системы и закономерностей развития, а также методов, используемых для прогнозирования состояния системы на разных этапах прогнозного периода.

Одним из основополагающих принципов сценарного прогнозирования является принцип системности, который позволяет рассматривать элементы системы в их взаимосвязи и структурном отношении. С одной стороны, система представляет собой совокупность нескольких подсистем, относительно самостоятельных и развивающихся по своим законам; а с другой – каждый элемент системы в своем развитии оказывает влияние на остальные элементы и на результат развития системы в целом. Второй принцип – принцип вариантности (альтернативности), который заключается в возможности построения качественно различных вариантов развития системы и ее отдельных элементов, что позволяет создать пространство сценариев развития системы. При этом каждый из сценариев должен быть научно обоснован в соответствии с объективными законами развития экономики и общества на основе предшествующего опыта и с использованием научных методов познания. Реалистичность сценариев вытекает из принципа соответствия прогнозов устойчивым тенденциям развития системы и закономерностям реальных процессов, а ранжирование альтернативных вариантов развития системы базируется на принципе целенаправленности исследования, согласно которому прогнозирование осуществляется с четко определенной целью, обусловленной потребностями общества.

В арсенале методов, используемых для сценарного прогнозирования сложных систем, имеются как интуитивные, так и формализованные методы исследования. Интуитивные методы носят, как правило, эвристический характер и основываются на предположениях субъекта исследования о наиболее вероятных сценариях развития системы. Предположения строятся на ретроспективном анализе изменений системы и знании субъекта о взаимозависимости элементов системы и их причинно-следственных связях с внешней средой. В таком прогнозе немаловажную роль игра-

ет интуиция субъекта, его предыдущий опыт и способность к системному анализу. Результат исследования в виде сценариев развития системы является обоснованным, но все же субъективным взглядом лица, формирующего прогноз системы на будущее.

Так, метод экспертных оценок как один из наиболее распространенных интуитивных методов предполагает проведение индивидуального или коллективного опроса экспертов в определенной области знаний и разработку сценарных прогнозов развития сложной системы на основе суждений отдельных экспертов или обобщенного результата коллективной экспертной оценки. Для повышения адекватности и точности прогнозов особое внимание уделяется отбору экспертов, независимости их мнений, процедуре проведения опроса, также методам обработки результатов опроса.

Основным критерием отбора экспертов является степень их компетентности в исследуемой проблеме, подкрепленная не только формальными показателями профессиональных заслуг (ученая степень, ученое звание, профессиональный опыт, количество публикаций и др.), но и признанием его вклада в научные исследования в виде показателей цитируемости опубликованных им трудов в международных базах цитирования и др. Дополнительно учитываются широта общего кругозора, глубина и актуальность научных разработок эксперта, признание его практического опыта и индивидуальных качеств. Отбор экспертов может проводиться на основе самооценки или взаимной оценки, что, с одной стороны, повышает вес важных неформальных критериев, но с другой – вносит субъективный фактор в процедуру отбора. Важное значение имеет однородность выборки экспертов, то есть равенство возможностей экспертов по генерации научно обоснованного, подкрепленного практическим опытом и интуицией собственного мнения относительно объекта исследования.

Среди способов проведения опросов можно выделить несколько наиболее простых и часто используемых: для индивидуальных опросов – анкетирование, интервьюирование, аналитический метод с предоставлением экспертами докладных записок; для коллективной работы экспертов – метод «мозгового штурма», метод «комиссий». Особое место в этом ряду занимает метод делфи, который состоит в проведении нескольких туров анонимных опросов среди группы экспертов с предоставлением им перед каждым следующим туром обобщенного результата предыдущего анкетного опроса. Количество туров определяется требуемой точностью прогноза или глубиной проработки сценария.

Индивидуальное экспертное мнение, как правило, представляет собой набор числовых, балльных, интервальных и вербальных величин, которые подвергаются унификации с целью приведения их к единой форме, пригодной для обработки. В качестве унифицированных данных выступают матрицы парных сравнений, вектора абсолютных численных значений, вектора относительных рейтингов, вектора идентификаторов. В зависимости от типов шкал применяются различные методы анализа данных, целью которого является определение степени согласованности мнений экспертов, выявление подгрупп высокосогласованных суждений и получение обобщенной экспертной оценки относительно объекта исследования.

Статистические методы обработки данных используются в предположении, что отклонения экспертных оценок от истинного значения параметра системы подчиняются случайному распределению, что позволяет применять весь инструментарий статистического анализа для расчета оцениваемых параметров с минимальной погрешностью. В случае интервальных форматов данных и допущения об отклонении усредненной экспертной оценки от истинного значения параметра применяют алгебраические методы, позволяющие определить такое значение параметра, которое равноудалено от индивидуальных оценок и представляет собой наиболее согласованную с экспертным мнением оценку в рамках имеющейся выборки.

Если экспертные мнения по какому-либо параметру системы являются отражением многомерной субъективной оценки, применяется метод шкалирования. Для проведения шкалирования сначала на основе логических рассуждений выявляются критерии, определяющие различия мнений экспертов. Затем экспертные мнения по каждому критерию выстраиваются от негативного до позитивного, определяется цена деления соответствующей шкалы, на которой каждому экспертному мнению присваивается свое значение. После этого проводится анализ согласованности мнений экспертов по каждому критерию и определяется оценка самого параметра как наиболее согласованная экспертная оценка по совокупности критериев.

В случае невозможности применения формальных методов получения обобщенной экспертной оценки применяют эвристические алгоритмы решения задачи, которые не дают гарантированно точного результата, но позволяют на основе неформального структурного анализа и существующих правил вывести согласованное экспертное мнение.

Надежность результатов сценарного прогнозирования, полученного методом экспертных оценок, определяется многими факторами, в частности однородностью выборки экспертов, их компетентностью и независимостью, качеством составления анкеты экспертов и соблюдением технологии проведения опроса (интервью), степенью согласованности индивидуальных оценок экспертов, а также адекватностью методов, применяемых для обработки результатов опроса и построения обобщенного экспертного мнения. Следует заметить, что метод экспертных оценок является одним из немногих инструментов прогнозирования динамики сложных слабоструктурированных систем в условиях неопределенности внешней среды, особенно если речь идет о долгосрочных прогнозах.

К формализованным методам сценарного прогнозирования сложных систем относятся методы исторических и математических аналогий и методы математического моделирования, которые основаны на построении строгой математической модели исследуемой системы с учетом ее эндогенных и экзогенных связей и закономерностей развития. В отличие от интуитивных методов формализованные более объективны, так как влияние субъективного фактора нивелируется за счет применения математической логики и описания исследуемого объекта с помощью взаимосвязанных математических уравнений и формально-логических выражений, выражающих причинно-следственные связи между элементами сложной системы и внешним окружением.

Метод аналогий предполагает наличие физического или исторического аналога, близкого по характеристикам и динамике развития к объекту прогнозирования, для которого существует математическое описание закономерностей развития. В основе метода лежит предположение, что исследуемая система, наследуя признаки объекта-аналога, с большой степенью вероятности будет развиваться по тем же законам, если не изменятся внешние факторы, определяющие их. Этот метод применяется в сочетании с методами экспертных оценок и дает надежные результаты только в случае устойчивых связей внутри объекта и стабильной внешней ситуации. Для рассматриваемых в настоящем исследовании сложных социально-экономических систем, таких как система образования, здравоохранение, пенсионная система, ни то, ни другое допущение принять нельзя, что обуславливает применение более гибких и точных методов математического моделирования, позволяющих учесть сложные взаимосвязи структурных элементов системы и описать математически влияние факторов внешней среды на процессы развития.

#### §4. Сценарный прогноз динамики развития социально-экономических систем

---

Суть методов математического моделирования сводится к замещению исследуемого объекта упрощенным представлением о нем в виде математической модели, в которой на языке символов, аналитических выражений и уравнений описаны ключевые характеристики объекта и причинно-следственные связи между составляющими его элементами и окружением, что позволяет воспроизвести состояние сложного объекта и динамику его развития. Исходя из специфики объекта исследования и целей прогнозирования, различают следующие математические модели:

- детерминированные, в которых однозначно определены все факторы, оказывающие влияние на развитие системы;
- стохастические, которые учитывают некоторую неопределенность в определении факторов, чьи значения подчиняются вероятностному распределению;
- вероятностно-статистические модели, направленные на исследование социально-экономических процессов на макро- и микроуровнях на основе набора исходных статистических данных;
- модели макроэкономического равновесия, позволяющие определить баланс между имеющимися ресурсами и их потреблением, обеспечивающий равновесное состояние системы в заданный момент времени (статические модели) или в динамике (динамические модели);
- модели, основанные на интеллектуальных технологиях, такие как нейронные сети, представляющие собой совокупность многослойных нейронных сетей, получающих информацию извне, перерабатывающих ее и генерирующих на выходе результат;
- имитационные модели, которые учитывают как характеристики самой системы, так и формализованные и неформализованные связи элементов системы между собой и с внешними факторами;

и ряд других, отличающихся либо степенью детализации, либо типом переменных, либо учетом фактора времени.

Для описания моделей и прогнозирования динамики сложных систем используют следующие группы математических методов: численные, аналитические, вероятностно-статистические и имитационные методы, среди которых наибольшее распространение получили эконометрические методы, методы статистического моделирования (Монте-Карло), математическая статистика и теория игр.

Общий алгоритм математического моделирования состоит из семи последовательных этапов:

1. Формулировка цели исследования, постановка задач математического моделирования.
2. Сбор информации об объекте исследования: структура, характеристики, эндогенных и экзогенных связи.
3. Разработка концептуальной модели, выбор уровня детализации.
4. Разработка математической модели: определение ее типа, формулировка допущений, конкретизация входных и выходных параметров, формализация причинно-следственных связей.
5. Выбор методов решения, разработка алгоритмов, определение ограничений модели.
6. Программная реализация модели, проведение расчетов, определение погрешности.
7. Интерпретация результатов моделирования, сопоставление с объектом оригиналом, проверка адекватности модели и ее корректировка.

Рассмотрим особенности выбора модели для сценарного прогноза социально-экономических систем. Как было показано выше, целью сценарного прогнозирования социально-экономической системы является построение «веера» возможных сценариев развития системы при различных вариантах развития внешнего окружения, управляющих воздействий на компоненты системы и на всю систему в целом. Задачами сценарного прогнозирования являются определение наиболее предпочтительной траектории развития системы, позволяющей достичь высоких показателей системы в условиях ограниченности ресурсов и нестабильности внешней среды, а также оценка вероятности реализации данного сценария.

Как объект математического моделирования социально-экономическая система, как правило, представляет собой сложную слабоструктурированную систему с большим количеством факторов, влияющих на состояние системы, и множеством формализованных и не поддающихся формализации причинно-следственных связей. Система является стохастической, поскольку подвержена влиянию риска и неопределенности со стороны внешнего окружения и внутренних дисбалансов. При этом существуют механизмы саморегуляции системы как на макро-, так и на мезоуровне, проявляющиеся в регулирующем воздействии на систему со стороны федерального и регионального законодательства. Кроме того, социально-экономическая система, являясь целостной совокупностью социальных и экономических институтов, по своей сути ориентирована на повышение качества жизни населения, что должно найти отражение при



#### §4. Сценарный прогноз динамики развития социально-экономических систем

---

построении математической модели и определении целевых показателей развития системы. Таким образом, в соответствии с обозначенными целями прогнозирования и особенностями рассматриваемых систем целесообразно использовать динамические стохастические или имитационные модели для исследования динамики социально-экономических системы в условиях риска и неопределенности внешней среды.

Для построения математической модели сложной системы с множеством элементов часто используют метод знаковых графов, позволяющий формализовать причинно-следственные связи между элементами системы. Граф представляет собой абстрактный математический объект, в вершинах которых находятся элементы системы, а связи обозначены ребрами. Использование аппарата графов облегчает процесс формального описания системы, делает наглядной ее структуру и существенно упрощает расчеты. Наряду с описанием самой системы требуется формализовать влияние внешних факторов на систему и разработать формальное описание внешнего окружения.

Формирование прогнозных сценариев развития социально-экономической системы начинается с описания исходного состояния системы, которое однозначно определено на начало прогноза. Сопоставление построенной модели с реальным объектом исследования позволяет верифицировать модель и задать начальные значения параметров. Существуют несколько подходов разработки сценариев развития сложных систем. Первый подход предполагает построение нескольких альтернатив – пессимистического, оптимистического и нормативного сценариев развития системы. Такой подход применяется при наличии единой стратегии развития социально-экономической системы и необходимости определения позитивных и негативных тенденций развития, а также ключевых факторов, приводящих к экстремальным сценариям. Вероятность реализации экстремальных сценариев крайне мала, более вероятными являются сценарии, сочетающие в себе как позитивные, так и негативные тренды. Нормативный вариант сценарного прогноза конструируется исходя из заданного целевого состояния системы в будущем на основе наиболее вероятной комбинаций факторов, приводящих систему к обозначенной стратегической цели с учетом возможных изменений внешней среды.

Второй подход к формированию сценариев рассматривает различные стратегии развития социально-экономической системы исходя из нескольких приоритетных направлений деятельности и потребления ресурсов.

Базовый сценарий подразумевает сохранение существующей стратегии и неизменность трендов развития системы. Альтернативные сценарии выстраиваются согласно разным стратегиям развития системы, что приводит к необходимости учета разных ключевых факторов внешней среды, разных ресурсных ограничений и разных рисков. В этом подходе пошагово прорабатываются все альтернативы, оценивается их вероятность и выбирается наиболее оптимальный с точки зрения соотношения прогнозируемых результатов и затраченных ресурсов сценарий развития. На заключительном этапе сценарного прогнозирования социально-экономических систем анализируются помехи и последствия реализации выбранного сценария развития, вырабатываются мероприятия для поддержания позитивных тенденций и при необходимости осуществляется корректировка прогнозов.

Таким образом, метод сценарного прогнозирования позволяет провести системное исследование сложных слабоструктурированных социально-экономических систем и выявить наиболее эффективные стратегии их развития с учетом изменений внешней среды. Преимуществами метода являются его комплексный подход к рассмотрению социально-экономической системы как сложной кибернетической системы во всех ее внутренних взаимосвязях и зависимостях от внешнего окружения и построению активных прогнозов, позволяющих выявить потенциал развития системы и определить эффективные пути воздействия на систему для реализации наиболее перспективных стратегий развития.

### **§5. Теоретические основы имитационного моделирования оптимальных социально-экономических систем в условиях неопределенности внешней среды**

Имитационное моделирование как частный случай математического моделирования является одним из наиболее эффективных инструментов анализа динамики развития таких социально-экономических объектов, которые обладают высокой степенью структурной и функциональной сложности, характеризующихся формализованными и неформализованными связями, неопределенностью прогнозного фона и отклика на внешнее воздействие. Начиная с 60-х гг. XX столетия оно получило широкое распространение благодаря стремительному развитию информационных технологий, экспериментальному подходу к управлению социально-экономическими и производственными системами, а также практической

значимости как инструмента для принятия управленческих решений. Теория имитационного моделирования представляет собой совокупность методических подходов и положений, интуитивных и формализованных методов, математических инструментов и программных средств для создания и изучения моделей сложных систем.

Термин «имитация» означает воспроизведение реальных свойств объектов, явлений или процессов на основе абстрактной или физической модели. Имитация позволяет постичь суть явлений, объяснить процессы, происходящие с объектом-оригиналом, спрогнозировать будущее состояние объекта, не прибегая к эксперименту над реальными объектами.

В имитационном моделировании используются абстрактные модели, описываемые на языке логико-математических отношений, которые выражают причинно-следственные связи характеристик объекта и внешних факторов, а в случае сложных систем – и взаимосвязи элементов системы между собой. На математическом языке имитационная модель представляет собой функциональную зависимость  $G$  характеристик системы  $U = \{u_1, u_2 \dots u_k\}$  от ее внутренних и внешних параметров  $V = \{v_1, v_2 \dots v_m\}$ :

$$U = G(V). \quad (2.1)$$

Целью имитационного моделирования в общем случае является нахождение такой функции  $G$ , которая позволяет не только описать с заданной точностью состояние системы  $U$  при заданных параметрах  $V$ , но и последовательно спрогнозировать будущее состояние системы при изменении ее параметров во времени. Функциональная зависимость  $G$  может быть выражена в различных формах: с помощью набора аналитических выражений, дифференциальных уравнений, знаковых графов, карт состояний, сетей и др. На основе корректно построенной модели можно решать и обратную задачу, определяя такие значения параметров системы, которые обеспечивают переход системы в заданное состояние с оптимальными характеристиками. Такие задачи решаются с помощью методов оптимизации.

Общий алгоритм построения математической модели был описан в §4. Остановимся на некоторых важных моментах построения имитационной модели сложных социально-экономических систем в условиях неопределенности внешней среды. Особенностью социально-экономических систем на современном этапе является их комплексность, взаи-

мосвязь с другими системами, нестабильность и подверженность влиянию множества факторов как на локальном, так и общемировом уровне. В связи с этим задача воспроизведения всей совокупности характеристик таких систем при имитационном моделировании становится практически неразрешимой и существенно осложняет расчеты. Поэтому при построении модели важно ограничиться только теми существенными характеристиками объекта-оригинала, которые в достаточной степени определяют сходство модели и объекта в контексте поставленных в исследовании задач. В этом аспекте критерием достаточности выбора состава воспроизводимых характеристик системы является оптимальное соотношение между относительной погрешностью расчетов и их трудоемкостью. Как правило, для имитации свойств объекта-оригинала создается несколько имитационных моделей, которые сравниваются между собой по этому критерию и выбирается наилучшая.

Этот же вопрос возникает при отборе внутренних и внешних параметров системы: какие из них необходимо учитывать при построении модели. Здесь критерием достаточности выступает степень влияния этих параметров на воспроизводимые характеристики. Качество модели определяется исходя из полноты и достаточности учета различных параметров системы для описания изменений ее характеристик при вариации параметров с заданной степенью точности. Кроме состава параметров, необходимо указать диапазоны их изменений, которые, в свою очередь, будут определять область определения имитационной модели. Чем шире область определения модели и выше число характеристик системы, тем функциональнее модель, однако при большом количестве характеристик и параметров затраты на реализацию модели могут быть слишком велики.

Точность определения характеристик системы при различных значениях параметров определяет адекватность модели, но, как правило, чем шире область определения модели, тем ниже ее адекватность. Сложность модели зависит не только от сложности воспроизводимой системы, но и от общего количества характеристик и параметров, входящих в модель, а также от требуемой степени точности нахождения значений воспроизводимых характеристик системы. Если размерность модели велика, то ее преобразовывают в иерархическую модульную структуру, каждый модуль которой описывают отдельно, задавая связь входных параметров и выходных характеристик модуля.

Управление сложной системой моделируется с помощью модулей си-

системы, которые выдают управляющие воздействия. В ходе создания концептуальной модели эти управляющие воздействия описываются в виде алгоритмов управления, согласно которым изменяются другие модули системы и процессы, протекающих в них. Управляющие воздействия могут запускать сразу несколько процессов внутри системы.

Внешняя среда задается также в виде модулей системы, генерирующих внешние воздействия, которые вызывают возмущения системы и переводят систему в другое состояние на основе определенных правил. В результате внешних воздействий возникает последовательная смена состояний сложной системы, причем изменения могут затрагивать одновременно несколько модулей системы, в которых будут происходить параллельные процессы.

На основе сбора исходных данных о реальной системе определяют начальные значения параметров системы. Параметры могут быть как детерминированными, так и стохастическими. Для детерминированных параметров в качестве начальных значений выбирают конкретные значения параметров реальной системы, а в случае стохастических параметров начальным значениям присваиваются их средние величины, либо параметр задается как случайная величина с определенным распределением. Закон распределения определяется эмпирическим путем на основе построения частотной гистограммы, сопоставления ее с известными теоретическими законами распределения и выбора такого закона распределения, который наилучшим образом описывает опытные данные, что проверяется с помощью критериев согласия Пирсона.

На следующем шаге определяют входные параметры и выходные характеристики для всех модулей системы и функциональную связь между ними. Если зависимость между входными и выходными переменными не явная, то для выявления ее вида прибегают к корреляционно-регрессионному или дисперсионному анализу, в ходе которых выдвигают предположение относительно вида аппроксимирующей функции и на основе ретроспективных данных рассчитывают ее коэффициенты методом наименьших квадратов. Статистическая значимость коэффициентов множественной регрессии подтверждается на основе  $t$ -статистики. Если отсутствуют статистические данные о функционировании системы в предыдущих периодах (например, речь идет о новой системе), функциональная зависимость задается исследователем исходя из экспертных мнений относительно прогнозных значений параметров и выходных характери-

стик модуля системы. Для дискретных параметров указываются их значения, а для стохастических – диапазоны изменений.

Таким образом, в результате концептуального описания модели возникает формализованное описание алгоритмов функционирования модулей системы, а также определенность в отношении их входных параметров и выходных характеристик. При воздействии управляющих факторов на систему алгоритмы запускаются параллельно или последовательно, при этом выходные характеристики одного модуля могут служить входными параметрами другого. Последовательный запуск алгоритмов может быть вызван, например, ограниченностью ресурсов. Вся совокупность разработанных алгоритмов с заданными начальными значениями и диапазонами изменений входных параметров представляет собой формализованное описание динамики развития сложной системы при различных изменениях внешней среды и управляющих воздействиях на систему.

Исходя из особенностей процессов, протекающих в сложных системах при управляющих воздействиях, различают несколько классов сложных систем, для которых разработаны свои специфические математические схемы и инструменты моделирования. Так, в сложных системах с программным типом управления все процессы запускаются параллельно и используют одни и те же ресурсы системы. Алгоритм функционирования такой системы состоит из совокупности алгоритмов всех ее модулей с заданными начальными значениями, ограничениями на активные ресурсы и выходными характеристиками.

Для систем со структурным типом управления состояние системы  $U$  в момент времени  $t$  характеризуется совокупностью изменяемых выходных характеристик всех модулей системы  $u(t)$ . Алгоритм функционирования данной системы описывает последовательную смену состояний системы в  $N$ -мерном пространстве состояний, где  $N$ -количество выходных характеристик модулей системы. Динамика развития системы характеризуется траекторией, соединяющей точки соответствующих состояний системы.

В стохастических системах (сетях) с дискретным множеством состояний переход системы из одного состояния в другое происходит непрерывно во времени. В любой момент времени можно определить состояние системы по идентификационному признаку, отличающему одно состояние системы от другого. Алгоритм функционирования такой системы разработан для описания систем массового обслуживания, в которых идентификационным признаком является количество заявок на обслуживание.

В отсутствии случайных внешних факторов алгоритм может быть представлен в виде дифференциальных уравнений, определяющих изменение состояния системы (количества заявок) через функции перехода и выхода.

Если в стохастической сети определены состояния системы в дискретные моменты времени, то такие системы называются автоматами. Автоматы меняют свое состояние под воздействием входных сигналов через определенные промежутки времени (такты). При этом новое состояние автомата зависит как от входного воздействия на систему, так и от его предыдущего состояния.

В том случае, если переход системы из одного состояния в другое задается непрерывной функцией времени, стохастическая система представляет собой стохастическую сеть с непрерывным множеством состояний. Переход системы в новое состояние определяется распределением вероятностей на множестве состояний, а выходной сигнал – распределением вероятности выходов. Для анализа функционирования вероятностных автоматов разработан специальный математический аппарат – Марковские цепи.

Вышеприведенная классификация сложных систем не является исчерпывающей. Она нужна для уточнения целей имитационного моделирования, типа разрабатываемой модели и выбора методов, применяемых для имитации различных классов сложных систем. Методы моделирования выбираются исходя из вида параметров и управляющих воздействий, а также из способа задания времени в модели. Если время течет с приращением на постоянный временной интервал  $\Delta t$ , то в результате имитационного моделирования определяются новые состояния модулей системы и их выходные характеристики в моменты  $t_0 + \Delta t \cdot k$ , где  $k = 1, 2, 3 \dots$ . Вторым способом задания времени заключается в привязке к моментам наступления особых состояний системы, например к возникновению внешнего воздействия, к моменту отклика и смены состояния системы и др. В этом случае анализируются возможные будущие события и особые состояния системы на всем протяжении прогнозного периода и фиксируется ряд  $t_k$ , по которым течет модельное время.

Для реализации имитационной модели используются различные программные средства на основе языков моделирования, позволяющих решать широкий круг задач для различных классов имитационных моделей. Языки моделирования по своей структуре являются проблемно- (процедурно-) ориентированными алгоритмическими языками высокого уровня и предназначены для описания поведения сложных систем во времени

на основе событийного алгоритма. В отличие от языков программирования общего назначения они используют терминологию абстрактной концептуализации и позволяют автоматизировать операции с заданием модельного времени, выполнение псевдопараллельных алгоритмов, процессы генерации случайных событий, сбора и обработки статистических данных. В настоящее время используются несколько языков моделирования для программной реализации дискретных (GPSS, SIMULA, SIMSCRIPT), непрерывных (MIMIC, АРТОН) и комбинированных (GASP, НЕДИС, УМС) моделей. Кроме того, существуют готовые программные пакеты, позволяющие с помощью встроенных стандартных инструментов и графических интерфейсов задавать параметры модели, проводить эксперименты и выдавать отчеты различных форматов (GPSS World, Extend, Arena, Simulink).

Проверка адекватности построенной модели осуществляется на основе сравнения полученных в ходе проведения эксперимента результатов с характеристиками реальной системы. Для детерминированных систем мерой адекватности может служить отклонение определенных характеристик модели от свойств оригинальной системы. Модель считается адекватной системе, если отклонение не превышает предельно допустимую величину. В случае стохастических систем задается минимально допустимая вероятность того, что отклонение характеристики модели от оригинала лежит в пределах допустимой ошибки.

Однако прямое сравнение характеристик модели с объектом-оригиналом может быть затруднено в связи с отсутствием данных о будущих характеристиках исследуемой системы или в связи с невозможностью задания точных критериев адекватности модели. В этом случае прибегают к экспертному анализу результатов имитационного моделирования, в ходе которого выявляется рассогласованность модели и системы, осуществляется поиск причин несоответствия характеристик модели и исследуемой системы, определяются модули, где допущены ошибки в формализации входных параметров и алгоритмов, проверяется корректность измерения выходных характеристик и их чувствительность к изменению входных параметров.

Далее проводится корректировка модели, которая подразумевает внесение изменений как на глобальном уровне, если выявлены существенные ошибки на этапе создания концептуальной модели и формализации процессов функционирования системы, так и на локальном уровне, когда требуется внесение изменений в отдельные модули системы. Для дальнейшей эксплуатации созданной модели важным моментом являет-



ся определение области ее пригодности, то есть условий применимости данной модели для осуществления прогноза развития социально-экономической системы. Ограничения вводятся как на диапазоны изменений входных параметров модели, включая параметры внешних управляющих воздействий, так и на ее выходные характеристики.

В рамках обозначенной области пригодности разработанная имитационная модель социально-экономической системы позволяет проводить компьютерный эксперимент по определению выходных характеристик системы при различных значениях внутренних и внешних параметров. Целью эксперимента является выявление таких сочетаний параметров системы, при которых достигается максимальное значение критерия эффективности или оптимальности функционирования системы. Эти критерии задаются исходя из специфики системы и требуемых значений выходных характеристик системы. Эксперимент проводится по заданному согласно научной гипотезе плану и предполагает системное изучение влияния различных параметров системы на ее выходные характеристики при различных внешних условиях. Результатом эксперимента является моделирование наиболее предпочитаемого состояния социально-экономической системы и условий перехода в это состояние под воздействием управляющих параметров с учетом неопределенности внешней среды.

Поиск оптимальных структуры и параметров социально-экономических систем основывается на методах оптимизации по Парето и формулируется как определение такой совокупности экономических механизмов воздействий на систему ( $a$ ) и соответствующих им внешних управляющих параметров ( $x$ ), при которых многомерная целевая функция результативности воздействий на систему –  $W(a)$  достигала бы максимального значения:

$$\max \{W(a): a \in \Pi\}, a \in A,$$

где  $\Pi$  – множество решений, оптимальных по Парето [47-48].

Целевая многомерная функция результативности управляющих воздействий –  $W(a)$  имеет вид:

$$W(x) = \sum_{i=1}^n l_i w_i(x), i = (1, n),$$

где  $l_i$  – коэффициенты важности стратегических целей  $w_1, w_2, w_3 \dots w_n$ .

Множество стратегических целей государственной политики в области управления различными социально-экономическими системами определяется исходя из приоритетов концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации. Таким образом, принимаемые параметры внешних управляющих воздействий на систему должны удовлетворять следующему условию:

$$M^* = \max W(a) = \max W(x), a \in A, x \in X.$$

Кроме того, экономические механизмы государственного управления должны быть взаимоувязаны исходя из обеспечения максимального значения критерия эффективности системы в целом. Учет последствий управляющих воздействий на систему должен состоять в согласовании интересов всех сторон. При этом правовые, экономические и административные ограничения формируют комбинации внешних управляющих параметров в рамках конкретных экономических механизмов.

Пусть:

$d_i$  – вектор экономического поведения основных акторов процессов, протекающих в рамках социально-экономической системы ( $d_i \in D$ );

$c_i$  – вектор экономического поведения органов управления субъекта Федерации ( $c_i \in C$ );

$b_i$  – вектор экономического поведения местных органов самоуправления ( $b_i \in B$ );

$g_i$  – вектор экономического поведения потребителей ( $g_i \in G$ ).

Тогда, задаваясь комбинацией внешних параметров  $k$ , мы можем определить полный набор вероятных последствий управляющих воздействий на систему:

$$x = f(k, d_1 \dots d_n, c_1 \dots c_n, b_1 \dots b_n, g_1 \dots g_n).$$

Обозначим через  $S$ ,  $U$ ,  $V$ ,  $Z$  функции предпочтения различных участников экономических процессов, протекающих в системе. При этом каждая сторона стремится максимизировать свою функцию предпочтения последствий.

Механизм оптимизации системы и согласования предпочтений ее участников включает в себя определение равновесия интересов и ответственности всех сторон. При этом в широком плане оптимальный вариант

должен соответствовать наивысшему значению общей функции полезности всех сторон:

$$\max Q(a) = \max Q(x) = \max F(S(x), U(x), V(x), Z(x)).$$

В случае противоречивости интересов задача поиска экономического равновесия решается с помощью механизма группового выбора Гроувса, предполагающего возможность компенсации ущерба той или иной стороне от неблагоприятных последствий принятых решений. Тогда оптимальный вариант будет соответствовать параметрам инструмента, характеризующегося максимизацией всех функций предпочтения:

$$\begin{aligned} &\max \{[S(x), U(x), V(x), Z(x)]: x \in X\}, \\ &\max \{[S(a), U(a), V(a), Z(a)]: a \in A\}. \end{aligned}$$

Предлагаемый метод позволяет на основе согласования интересов и ответственности всех сторон находить эффективные инструменты государственного управления социально-экономическими и принимать наиболее оптимальные решения.

### Список библиографических ссылок

1. *Davis J. B., Dolfisma W.* Social economics: an introduction and a view of the field / eds. J. B. Davis and W. Dolfisma // *The Elgar Companion to Social Economics*. 2010. Edward Elgar Publishing. P. 1–7.
2. *Eatwell J., Milgate M., Newman P.* Social Economics: The New Palgrave, 1989. P. XII. Topic-preview links. P. V–VI. P. 24–30.
3. *Putnam R. D.* Bowling Alone: The Collapse and Revival of American Community. Simon and Schuster. 2001. P. 19.
4. *Durlauf S. N., Young H. P.* Social Dynamics, Economic Learning and Social Evolution. MIT Press, London, 2001.
5. *Vasil'ev V., Wiesmeth H.* Equilibrium in a mixed economy of arrow-debreu type // *Journal of Mathematical Economics*. 2008. № 44 (2). P. 132–147.
6. Germany. Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien, amended 2014. (In German). URL: [http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/EEG/eeg\\_2014.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/EEG/eeg_2014.pdf?__blob=publicationFile&v=3) (дата обращения: August 2014).
7. OECD. Extended producer responsibility: a guidance manual for governments. OECD. Paris, 2001.

8. *Walls M.* Extended producer responsibility and product design: economic theory and selected case studies. Discussion Paper, Resources for the Future. Washington DC, 2006.
9. *Wiesmeth H., Häckl D.* How to successfully implement extended producer responsibility: considerations from an economic point of view // *Waste Management & Research*. 2011b. № 29 (9). P. 891–901.
10. *Wiesmeth H., Häckl D.* Integrated Environmental Policy: An Economic Analysis // *Waste Management and Research*. 2017. № 35 (4). P. 332-345.
11. Areppim. Innovation Score and GDP per capita 2011. Areppim AG. Bern, 2012.
12. BMBF. Federal Report on Research and Innovation – Abstract. Federal Ministry of Education and Research. 2012. URL: [http://www.bmbf.de/pub/bufi\\_2012\\_en\\_abstract.pdf](http://www.bmbf.de/pub/bufi_2012_en_abstract.pdf)
13. *Demmou L., Wörgötter A.* Boosting productivity in Russia: skills, education and innovation. OECD Economics Department Working Papers, No. 1189, OECD Publishing, 2015. URL: <http://dx.doi.org/10.1787/5js4w26114r2-en>
14. OECD. Patents and innovation: trends and policy challenges. OECD Publishing. 2004. URL: <https://www.oecd.org/sti/sci-tech/24508541.pdf>.
15. OECD. Economic performance and framework conditions for innovation // *OECD Reviews of Innovation Policy: Russian Federation*, 2011. ECD Publishing. 2011. URL: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264113138-4-en>.
16. OECD. Innovation strategy 2015: an agenda for policy action. OECD. Publishing. 2015. URL: <http://www.oecd.org/sti/OECD-Innovation-Strategy-2015-CMIN2015-7.pdf>.
17. *Saviotti P. P., Pyka A.* The co-evolution of innovation, demand and growth // *Economics of Innovation and New Technology*. 2013. № 22 (5). P. 461–482. URL: <http://dx.doi.org/10.1080/10438599.2013.768492>.
18. *Anisimkova N., Pushkarev A., Wiesmeth H.* Demand-Oriented Analysis of Technological Innovations with a View on Russia and Germany. Discussion Paper, May 2017. URL: [http://stats.areppim.cm/archives/insight\\_innovxgdp\\_correl\\_2011.pdf](http://stats.areppim.cm/archives/insight_innovxgdp_correl_2011.pdf).
19. OECD. *OECD Reviews of Health Systems: Russian Federation*, 2012. OECD Publishing. 2012. URL: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264168091-en>.
20. *Chubarova T.* The health-care system in Russia: Economic problems of theory and practice // *Problems of Economic Transition*. 2010. № 52 (11). P. 24–42.

21. *Göpffarth D., Henke K.-D.* The German Central Health Fund – Recent developments in health care financing in Germany // *Health Policy*. 2013. № 10. P. 55–64. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.healthpol.2012.11.001>.
22. *Wiesmeth H.* Strengthening Competitive Force in Russian Mandatory Health Insurance. 2016 / Accepted for publication in the “International Journal of Economic Policy in Emerging Economies”. URL: <http://www.inderscience.com/info/ingeneral/forthcoming.php?jcode=ijepee>.
23. Cornell University, INSEAD, WIPO. The Global Innovation Index 2017: Innovation Feeding the World. Ithaka, Fontainebleau and Geneva, 2017. URL: <https://www.globalinnovationindex.org>.
24. *Wiesmeth H., Häckl D.* Rahmenbedingungen für technische Innovationen: Ökonomische Analyse mit Beispielen aus Deutschland, Proceedings of the Saxonian Academy of Sciences at Leipzig // *Technikwissenschaftliche Klasse*. 2011a. Vol. 3, Is. 4. DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/0734242X11413333>.
25. *Fritsch M., Slavtchev V.* Determinants of the efficiency of regional innovation systems *Regional Studies*. 2010. № 45 (7). P. 905–918.
26. SSMU.URL: [http://international.ssmu.ru/ru/research\\_innovation/research\\_centers/](http://international.ssmu.ru/ru/research_innovation/research_centers/)
27. *Fiala O., Häckl D., Stegareva E., Weinhold I., Wiesmeth H.* Regional economic impact of university hospitals in Russia and Germany. Discussion Paper, May 2016.
28. *Wack P.* Scenarios: Uncharted Waters Ahead // *Harvard Business Review*. 1985. № 63 (5). P. 73–89.
29. *Donella H.* Meadows; Jorgen Randers; Dennis L Meadows; William W Behrens. The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome’s Project on the Predicament of Mankind. 1. Universe Books, 1972. 211 p.
30. *Godet M.* From Anticipation to Action: a Handbook of Strategic Prospective. Paris : UNESCO, 1994. 283 p.
31. *Godet M., Roubelat F.* Creating the future: the use and misuse of scenarios // *Long Range Planning*. 1996. № 29 (2). P. 164–171.
32. *Mietzner D., Reger G.* Advantages and disadvantages of scenario approaches for strategic foresight // *International Journal Technology Intelligence and Planning*. 2005. № 1 (2). P. 220–239.
33. Рингланд Дж. Сценарное планирование для разработки бизнес-стратегии : монография / пер. с англ. 2-е изд. М. : ООО И.Д.Вильямс, 2008. 560 с.

34. *Torrieri F., Nijkamp P.* Scenario analysis in spatial impact assessment: a methodological approach // Sustainable urban development / eds. S. R. Curwell, M. Deakin, M. Symes. London : Routledge, 2005. P. 43–61.
35. Using scenario planning in regional development context: the challenges and opportunities / E. Boo, A. Adli, T. Hedner, K. Maack, M. Lundqvist // World Journal of Science, Technology and Sustainable Development. Vol. 10, Is. 2, 2013. P. 103–122.
36. The Future of Cities and Regions: Simulation, Scenario and Visioning, Governance and Scale / eds. L. Bazzanella, L. Caneparo, F. Corsico, G. Roccasalva. Springer Geography, 2012. 363 p.
37. *Soltys J.* Scenarios in Planning for Cities and Regions: Experiences and Problems Urban Futures-Squaring Circles. Europe, China and the World in 2050. Conference Proceedings. Institute of Social Sciences-University of Lisbon, 2014. 13 p. URL: <http://www.ufsc2050.ics.ul.pt/papers/26.pdf>.
38. *Carlsen H., Dreborg K. H., W-S. P.* Tailor-made scenario planning for local adaptation to climate change // Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 2013. № 18 (8). P. 1239–1255.
39. *Wilkinson A., Kupers R.* Living in the Futures // Harvard Business Review. 2013. № 91 (5). P. 119–127.
40. *Harmsen H., Jensen B. B., Sonnie A. M.* Scenarios for the food industry in 2010 // Agrarwirtschaft. 2001. № 50 (6). P. 314–322.
41. *Islei G., Lockett G., Naudé P.* Judgemental modelling as an aid to scenarioplanning and analysis // Omega-International Journal of Management Science. 1999. № 27 (1). P. 61–73.
42. *Schreuder R. F.* Scenarios for health planning and management: The dutch experience // International Journal of Health Planning and Management. 1988. № 3(2). P. 73–87.
43. *Neiner J. A., Howze E. H., Greaney M. L.* Using scenario planning in public health: anticipating alternative futures // Health Promotion Practice. 2004. № 5 (1). P. 69–79.
44. *Кульба В. В., Кононов Д. А., Косяченко С. А., Шубин А. В.* Методы формирования сценариев развития социально-экономических систем. М. : СИНТЕГ, 2004. 296 с.
45. *Кононов Д. А., Косяченко С. А., Кульба В. В.* Формирование и анализ сценариев развития социально-экономических систем с ис-

пользованием аппарата операторных графов // Автоматика и телемеханика. 2007. № 1. С. 121–136.

46. *Vincent-Lancrin S.* Building Futures Scenarios for Universities and Higher Education: an international approach // Policy Futures in Education. 2004. № 2 (2). P. 246–266.

47. *Кини Р. Л., Райфа Х.* Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. М. : Радио и связь, 1981. 560 с.

48. *Подиновский В. В., Ногин В. Д.* Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2007. 256 с.

## Глава 2

# ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ ОПТИМИЗАЦИИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В данной главе представлены результаты исследований в области экономико-математического моделирования и разработки инструментария для компьютерного моделирования решения сложных социально-экономических систем, функционирующих в условиях наличия внешних возмущений и информационной неопределенности.

Для экономико-математического моделирования таких систем предлагается использовать *общую методологию экономико-математического и компьютерного моделирования многоуровневых иерархических динамических систем*, представленную в работах [1, 2]. На основании этой методологии и использования *минимаксного подхода* [1–15] с целью оптимизации гарантированного результата при решении оптимизационных задач *в общих классах социально-экономических систем, включающих в себя системы здравоохранения, образования, инновационной деятельности и др.*, в данной главе исследуются и решаются следующие задачи:

- разработки *методологии экономико-математического и компьютерного моделирования многоуровневых иерархических динамических систем, включающих в себя системы здравоохранения, образования, инновационной деятельности и др., функционирующих в условиях наличия внешних возмущений и информационной неопределенности;*

- разработки *многошаговой линейной дискретной математической модели для описания социально-экономических систем, функционирующих в условиях отсутствия внешних возмущений и решения соответствующих оптимизационных задач;*

- формирования *алгоритма решения задачи апостериорной идентификации экономико-математических моделей динамики социально-экономических систем, описываемых общим линейным векторным дискретным рекуррентным уравнением;*

- построения *области достижимости (прогнозного множества) фазовых состояний многошаговой линейной дискретной математической модели;*



- разработки *алгоритма минимаксного оценивания* области достижимости (прогнозного множества) фазовых состояний многошаговой линейной дискретной математической модели;
- исследования и решения *задачи оптимизации гарантированного результата управления в многоуровневых детерминированных динамических моделях социально-экономических систем, включающих в себя системы здравоохранения, образования, инновационной деятельности и др., в условиях динамичной внешней и внутренней среды.*

Для перечисленных задач в данной главе на основе исследований [1–6, 9–26] описываются их решения, которые предложены в работах [1, 2, 9–14, 17–26] и позволяют реализовать экономико-математическое моделирование и разрабатывать эффективные алгоритмы их решения с целью разработки и создания компьютерных программных систем [27–33] для моделирования и поддержки принятия управленческих решений в сложных социально-экономических системах, включающих в себя системы здравоохранения, образования, инновационной деятельности и др., функционирующих в условиях информационной неопределенности и рисков. Математические модели таких систем представлены, например, в работах [34–49].

### **§1. Теоретико-методологические основы многоуровневого детерминированного динамического моделирования социально-экономических систем в условиях информационной неопределенности**

В данном разделе описывается оригинальная методология математического и компьютерного моделирования социально-экономических систем, включающих в себя системы здравоохранения, образования, инновационной деятельности и др., которая позволяет описывать и решать оптимизационные задачи, соответствующие динамическим объектам, функционирующим в условиях наличия возмущений (рисков) и дефицита информации.

Прежде чем перейти к описанию этой методологии, сформулируем ряд понятий. Отметим, что для приведенных ниже определений не существует канонических (общепринятых) аналогов и они только фиксируют понимание их источников автором.

Под *системой* будем понимать совокупность элементов любой природы, объединенных в различные наборы (*подсистемы*), имеющие опреде-

ленные свойства и различные связи, позволяющие отличать ее от других систем.

Отметим, что из этого определения следует, что один элемент системы является одной из ее подсистем и система в целом обладает, присущими ей свойствами.

Система называется *управляемой*, если существует возможность изменять некоторые ее элементы, с целью изменения ее свойств.

Управляемая система называется *динамической*, если состояние ее элементов зависит от времени, в противном случае система называется *статической*.

*Математической моделью конкретной задачи* для рассматриваемой системы называется соответствующая математическая структура, позволяющая сформировать в ее рамках чисто математическую задачу, решение которой совпадает с заданной точностью с решением исходной задачи.

Отметим в общем случае *разным задачам (процессам)*, связанным с заданной системой, соответствуют и *различные математические модели*.

В зависимости от точности решения исходной задачи на основе соответствующей математической модели, можно говорить и о *точности математической модели* или *адекватности* данной задаче.

При этом для исходной системы *не существует адекватной математической модели*, так как она отвечает только конкретной задаче, связанной с рассматриваемой системой.

Процесс формирования математической модели конкретной задачи для рассматриваемой системы называется *математическим моделированием задачи*.

Процесс решения конкретной задачи для рассматриваемой системы на основе соответствующей математической модели с помощью компьютера, называется *компьютерным моделированием* решения данной задачи.

Отсюда следует, что эффективность реализации компьютерного моделирования тесно связана с эффективностью реализации математического моделирования конкретной задачи для рассматриваемой системы.

*Оптимизационной задачей* для математической модели управляемой динамической или статической системы называется задача нахождения *наилучшего* (например, *максимального* или *минимального*) значения *выбранного критерия качества* (например, *функционала* или *набора функционалов*), оценивающего состояние элементов системы, и *нахождения элементов системы*, обеспечивающих такие значения.

Для решения оптимизационных задач в различных математических моделях управляемых динамических систем в 50-х гг. XX в. выдающимся американским математиком Р. Беллманом разработан метод *динамического программирования*, позволяющий свести решение исходной задачи к решению последовательности решений более простых оптимизационных задач, то есть сформировать конечную последовательность действий (операций) для реализации решения исходной задачи.

Для сложных социально-экономических, технических, военных, медицинских и др. динамических систем – крупных технологических процессов, производственных предприятий, транспортных компаний и др., при решении оптимизационных задач, основной задачей является создание информационной системы оперативного обеспечения технико-экономической информацией и принятия управленческих решений. Такая система должна, в свою очередь, иметь базы данных, позволяющие на их основе моделировать решение задач оценивания данных, прогнозирования изменения их во времени и обеспечивать поддержку принятия оперативных, краткосрочных и долгосрочных решений, то есть управления рассматриваемой динамической системой.

Известно, что для решения задач информационного обеспечения и управления в динамических системах, в которых требуется иметь количественные оценки состояния их параметров и связанных с ними процессов, или прогнозировать изменения их по ходу реализации при имеющихся условиях и ограничениях (например, технико-экономических, информационных и др.), возникает необходимость в *математическом и компьютерном моделировании*. Это означает, что реальной практической задаче в конкретной динамической системе необходимо поставить в соответствие некую математическую модель, то есть одну из известных (или модернизированных) математических структур. При этом необходимо сформировать такую математическую модель, которая бы достаточно адекватно отражала исходную динамическую систему и рассматриваемую задачу (процесс), то есть если для исследования важными являются какие-то параметры системы и задачи (процесса), то они должны присутствовать в модели, и, если имеются какие-то условия на реализацию задачи (процесса) в системе, то они также должны учитываться в модели. Причем обычно в исходной системе присутствует большое число параметров, характеризующих связанные с ней задачи (процессы), и учет всех этих параметров приводит к сложным и громоздким моделям. Поэтому

для реализации математического и компьютерного моделирования таких систем и рассматриваемых в них задач необходимо учитывать только *значимые для их исследования параметры*, которые позволяют получать в результате моделирования и решения соответствующих задач приемлемые для практики результаты.

### **Общая методология математического и компьютерного моделирования многоуровневых иерархических динамических систем**

Вопросам математического, экономико-математического и компьютерного моделирования посвящено множество работ, в которых отражены различные точки зрения на эту проблему и различные методологические подходы. Отметим только, что в этих работах отсутствует *общая методология математического и компьютерного моделирования многоуровневых иерархических динамических систем, функционирующих в условиях неопределенности*. В тоже время именно таковыми являются все достаточно сложные современные технические, экономические, военные, медицинские и др. динамические системы.

Ниже предлагается *общая методология математического и компьютерного моделирования*, которая позволяет реализовать соответствующую технологию формирования математических моделей для конкретных задач в сложных динамических системах с целью разработки моделирующего компьютерного программного обеспечения и реализации решения исходных задач средствами современных информационных технологий. Данная методология впервые предложена в работах [1, 2].

Введем в рассмотрение следующее основное определение.

Под *общей многоуровневой иерархической динамической системой* (объектом исследования), управляемой основным субъектом управления, будем понимать совокупность ее внутренних частей (подсистем), состоящих из соответствующих им объектов и элементов, в которых рассматриваются процессы, управляемые соответствующими субъектами управления, имеющими собственные сферы интересов в условиях иерархической подчиненности основному субъекту управления, функционирующую в конкретной среде при наличии неопределенности, которую в целом можно различать среди других систем и в своем составе она имеет:

1) входные информационные устройства и средства (устройства ввода данных), сопряженные с ее объектами или элементами;

2) устройства и средства для хранения данных (запоминающие устройства), сопряженные с ее объектами или элементами;

3) устройства и средства, позволяющие реализовать математические, логические и иные операции для анализа и обработки данных, сопряженные с ее объектами или элементами;

4) выходные информационные устройства и средства (устройства вывода данных), сопряженные с ее объектами или элементами;

5) устройства и средства для реализации управляющих связей между ее объектами или элементами;

6) устройства и средства для реализации информационных связей между ее объектами или элементами;

7) устройства и средства, позволяющие реализовать выбранные системы кодирования и декодирования данных (например, в двоичной системе счисления), сопряженные с ее объектами или элементами.

Тогда основные этапы математического и компьютерного моделирования различных задач проектирования и организационного управления в сложных многоуровневых иерархических динамических системах (технических, экономических, военных, медицинских и др.), функционирующих в условиях неопределенности, можно представить в виде реализации следующей последовательности основных этапов.

1. В рассматриваемой системе выделяется *основной субъект управления* рассматриваемыми в ней процессами, контролирующий *основной уровень управления*, и выделяются ее части (подсистемы) – *другие (подчиненные) уровни управления*, которые могут находиться в сфере интересов *других (подчиненных) управляющих субъектов* (если таковые присутствуют), находящихся в условиях *иерархической подчиненности* основному субъекту управления.

2. В рассматриваемой системе и ее подсистемах выделяются наиболее значимые для их исследования соответствующие им *параметры состояния*, характеризующие исследуемые в системе процессы в фиксированный момент времени (если рассматривается динамический процесс, как наиболее общий) и соответствующие им *ограничения*.

3. Выделяются *параметры управления* процессами в системе в целом и подсистемах, которые могут изменяться по ходу реализации конкретного процесса в зависимости (по желанию и возможностям) от выбора соответствующего управляющего субъекта и соответствующие им *ограничения* (физической реализуемости, технические, экономические и др.).

4. Выделяются *неуправляемые параметры (возмущения)* для рассматриваемых в системе в целом и подсистемах процессов (неконтролируемые конкретным управляющим субъектом, или учитывающие влияние конкретной внешней среды, или описывающие погрешности моделирования процессов), которые изменяются вне зависимости от желания и возможностей конкретного управляющего субъекта и соответствующие им *ограничения*.

5. Для каждой из подсистем и для системы в целом определяются параметры процессов, характеризующие их *структуру и внутренние связи* между объектами или элементами системы и соответствующие им *ограничения*.

6. Формируются *условия информационного обеспечения* для каждого из управляющих субъектов, которым подчиняются соответствующие уровни управления, *информационные и управляющие связи* между ними и *условия иерархической подчиненности* при принятии управленческих решений субъектами управления, а также соответствующие им *ограничения*.

7. Для каждой из подсистем рассматриваемой системы формируются соответствующие *критерии качества* (в частном случае – один критерий), позволяющие оценивать качество функционирования этой подсистемы и формируются также соответствующие критерии (или критерий), которые позволяют оценивать качество функционирования исследуемой системы в целом.

8. Для каждой подсистемы, на основании выбранных соответствующих критериев качества функционирования соответствующих ей процессов, формируются *цели*, достижение которых является наилучшим или приемлемым для соответствующего управляющего субъекта исходом рассматриваемых процессов, и аналогично формируются соответствующие цели и для субъекта, управляющего рассматриваемыми процессами в системе в целом, которые в совокупности соответствуют сформированным критериям качества для рассматриваемых процессов.

9. На основании предыдущих этапов определяется математический инструментарий (математические структуры) моделирования и в рамках его формируются *математические модели* для каждой из подсистем и рассматриваемой системы в целом, соответствующие исходным задачам и процессам, которые в какой-то мере адекватны им и позволяют анализировать и исследовать их, имеющимися математическими средствами и в приемлемое время.

10. В рамках сформированных математических моделей исходных задач и процессов, исследуемых в подсистемах и рассматриваемой системе в целом, формируются соответствующие им *математические задачи*.

11. Для сформированных математических задач разрабатываются *математические методы* их решения в форме реализации соответствующих конечных последовательностей логических, математических и иных операций.

12. Для каждого из математических методов решения задач разрабатываются соответствующие им *численные алгоритмы* (также в форме конечных последовательностей логических, математических и иных операций), позволяющие реализовать *моделирование решения* этих задач (например, на компьютере) с целью получения приемлемых результатов.

13. С помощью программных и технических средств на базе разработанных численных алгоритмов *осуществляется реализация математического и компьютерного моделирования* исследуемых процессов в подсистемах и в рассматриваемой системе в целом.

Рассматриваемая технология математического и компьютерного моделирования различных динамических систем и задач (процессов) в них может применяться как в целом, состоящая из всех этапов (для достаточно сложных систем и процессов), так и частично – в зависимости от основных целей моделирования и структуры конкретного исследуемого процесса.

Отметим, что реальная исследуемая динамическая система может иметь достаточно большое количество значимых параметров (состояния, управляемых, неуправляемых и др.), характеризующих ее функционирование. Тогда для анализа и исследования соответствующих ей процессов выделяют только наиболее существенные (с точки зрения выбранных критериев качества процессов) параметры, описывающие ее подсистемы и систему в целом, то есть снижают размерность соответствующих математических моделей, формируя упрощенный образ рассматриваемой системы. Затем разрабатывают математические модели подсистем и системы в целом, которые являются определенной абстракцией, приемлемой для исследования соответствующих им реальных задач (процессов).

Образно сформированные математические модели по отношению к реальной динамической системе и ее подсистемам, учитывающие соответствующие им задачи (процессы), можно изобразить следующим образом (рис. 2.1).

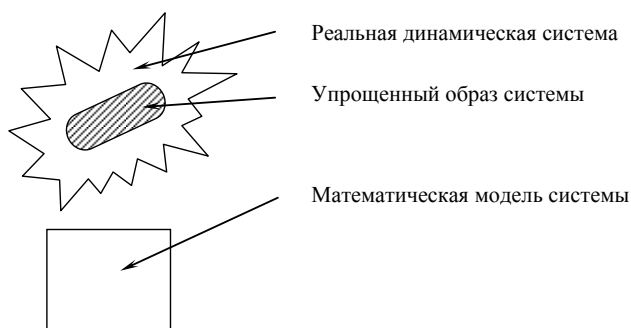


Рис. 2.1. Образно сформированные математические модели по отношению к реальной динамической системе и ее подсистемам

При этом математическая модель системы находится «вне реальной динамической системы», а не содержится в ней, т. к. она может быть использована и для исследования других реальных систем и соответствующих им задач (процессов). Так, например, математические модели могут быть такими математическими структурами, которые могут применяться для моделирования и исследования реальных динамических систем и соответствующих им практических задач (процессов), как в области экономики, так и в областях техники и медицины.

### **Реализация методологии математического и компьютерного моделирования многоуровневых иерархических динамических систем**

Приведенную выше последовательность основных этапов математического и компьютерного моделирования на практике можно реализовать в форме следующих основных блоков.

I. Для выделенных значимых параметров состояния системы, структурных параметров, управляемых и неуправляемых параметров в рамках выбранного математического инструментария формируется *математическая модель*, описывающая стационарные или динамические процессы, соответствующие исследуемым процессам для подсистем и системы в целом в форме:

1) алгебраических или операторных соотношений (детерминированных или стохастических в случае, если объект стационарный);



2) алгебраических рекуррентных соотношений, дифференциальных или операторных динамических соотношений (детерминированных или стохастических в случае, если процесс динамический) и др.

При этом соотношения будут стохастическими, если присутствуют неопределенные параметры, для которых известны их вероятностные характеристики.

II. Для математических моделей подсистем и системы в целом формируются имеющиеся *управляющие связи, условия иерархической подчиненности и информационного обеспечения* для соответствующих субъектов, управляющих подсистемами и для субъекта, управляющего системой в целом, в виде информационных сигналов, являющихся «*выходными данными*» или значениями функционального (операторного) преобразования (соотношения), определенного на «*входных данных*» – параметрах состояния, структурных параметрах, управляемых или неуправляемых параметрах, при наличии погрешностей (ошибок) измерений (эти преобразования могут иметь вид, например, действительных функций многих переменных, дифференциальных или операторных соотношений, описывающих *уравнение измерений информационных сигналов*).

III. Для каждой из подсистем рассматриваемой системы и для системы в целом формируются *критерии качества функционирования* соответствующих им процессов, которые в случае наличия, например, одного критерия, имеют вид действительной функции одной или нескольких действительных переменных, а в случае наличия нескольких критериев (наиболее общий случай) критерием качества является набор функций (или векторная функция), состоящий из набора действительных функций нескольких действительных переменных (в таких случаях говорят, что имеется *векторный критерий качества* или векторный показатель функционирования процесса в конкретной подсистеме или в системе в целом – наиболее сложный показатель).

IV. Для выделенных подсистем и системы в целом, а также для сформированных критериев качества функционирования подсистем и системы в целом, формируются *цели*, которые преследуют соответствующие субъекты управления, имеющие обычно форму достижения максимальных или минимальных значений соответствующих критериев качества (причем для векторных критериев необходимо использовать аналогичные им понятия с учетом специфики задачи).

V. Для параметров состояния, структурных параметров, управляемых и неуправляемых параметров, всех априори неопределенных параметров системы (погрешностей моделирования подсистем и системы в целом, ошибок измерений информационных сигналов, неопределенностей моделирования критериев качества рассматриваемых процессов и др.) формируются *ограничения на их изменения*, отражающие имеющиеся реальные ограничения (физические, химические, биологические, экономические и др.) в форме:

- 1) алгебраических уравнений или неравенств (детерминированных или стохастических);
- 2) дифференциальных уравнений или неравенств (детерминированных или стохастических);
- 3) операторных уравнений или неравенств (детерминированных или стохастических) или др.

При этом важна достаточная адекватность ограничений в математической модели имеющимся реальным ограничениям.

VI. Для сформированных в блоках I–V математических моделей, образующих в комплексе математическую модель исследуемых процессов в подсистемах и в рассматриваемой системе в целом, формулируются, например, *математические задачи оптимизации гарантированного результата* [1–27, 30–33] (позволяющие учитывать наличие неопределенности или конфликта в рассматриваемой системе), соответствующие реальным практическим задачам и для сформулированных задач разрабатываются *математические методы* их решения [4–6, 11], а также *численные алгоритмы* (например, в форме реализации конечных последовательностей логических, математических и иных операций), позволяющие организовать и реализовать моделирование решения этих задач, например на компьютере [27–33].

VII. На основе сформированных в блоке VI алгоритмов разрабатывается и формируется *программное и техническое обеспечение* или используется стандартное, позволяющее реализовать процесс моделирования исходной системы и решения сформулированных в рамках ее задач, соответствующих исходным реальным задачам.

VIII. С помощью сформированных программных и технических средств реализуется, например, *компьютерное моделирование* исследуемых процессов для рассматриваемых подсистем и системы в целом. При этом в случае получения приемлемых результатов моделирования, согла-

сующихся с известными практическими результатами, моделирование считается приемлемым для решения практических задач. В случае, если отсутствуют приемлемые результаты при компьютерном моделировании, то процесс формирования математической модели системы корректируется, начиная с блока I до блока VII, и затем повторяется до получения приемлемых результатов компьютерного моделирования, согласующихся с практическими результатами реализации исследуемых процессов в рассматриваемой системе.

Следует отметить, что *процесс математического и компьютерного моделирования (в общем случае) является циклическим*. При его реализации изменяются как рассматриваемые параметры исследуемой системы, так и используемые математические и технические средства.

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать общий вывод, что для реализации математического и компьютерного моделирования сложных динамических систем в форме многоуровневых иерархических динамических систем необходимо изучение методов формирования и анализа соответствующих математических моделей, методов и алгоритмов решения различных задач, которые могут быть сформулированы в рамках таких моделей (например, задач оптимизации гарантированного результата), а также исследование различных математических операций, которые позволяют организовать реализацию этих алгоритмов, например с помощью компьютера и современных информационных технологий, имеющимися или специально сформированными техническими и программными средствами.

Отметим, что предлагаемая технология математического и компьютерного моделирования позволяет, в частности, формировать математические модели динамических систем на основе известных математических структур оптимизации гарантированного результата в рамках одноуровневых и многоуровневых систем [1, 2, 4–6, 9–15, 17–26, 41] и применять соответствующие математические методы для их моделирования и анализа значимых параметров. При этом она позволяет также разрабатывать алгоритмы решения уже чисто математических задач, сформулированных в рамках таких моделирующих систем, которые можно представить в виде реализации соответствующих конечных последовательностей различных логических и математических операций, исследование которых позволяет улучшать как методы, так и результаты решения исходных практических задач и реализовать, например, компьютерное моделирование реальных

экономических, технических и др. динамических систем с применением современных информационных технологий.

Сделаем важное замечание – с помощью предлагаемого подхода можно реализовать *математическое и компьютерное моделирование* различных динамических систем и процессов в различных *социально-экономических системах, включающих в себя системы здравоохранения, образования, инновационной деятельности и др.*, которые функционируют при наличии возмущений (рисков) и дефицита информации.

## **§2. Формирование многоуровневых детерминированных динамических моделей социально-экономических систем в условиях динамичной внешней и внутренней среды**

В данном разделе рассматривается процесс формирования и анализа *нелинейной многоуровневой детерминированной динамической модели социально-экономических систем*, функционирующих в условиях динамичной внешней и внутренней среды, при наличии информационной неопределенности. Рассматривается *дискретная динамическая система*, состоящая из набора управляемых социально-экономических объектов, включающих в себя системы здравоохранения, образования, инновационной деятельности и др., динамика каждого из которых описывается соответствующим *векторным нелинейным дискретным рекуррентным соотношением при наличии управляемых параметров и возмущений (рисков, помех или ошибок моделирования)*. В данной системе выделены два уровня принятия управленческих решений – доминирующий уровень *I*, управляемый доминирующим игроком *P* (например, субъектом управления регионом), и подчиненный уровень *II*, управляемый игроком *E* (например, субъектом управления, объединяющим субъектов управления муниципалитетами). Оба уровня управления объединены между собой априори определенными информационными и управляющими связями. Качество управления рассматриваемыми динамическими объектами на каждом уровне управления оценивается соответствующими им выпуклыми функционалами, оценивающими уровень состояния социально-экономических объектов, находящихся в их ведении, которые определены на их терминальных (финальных) фазовых состояниях и удовлетворяют соответствующим условиям Липшица [45]. Предполагается, что управляю-

щие воздействия и возмущения в рассматриваемой динамической системе в каждый момент времени стеснены заданными конечными множествами или выпуклыми многогранниками в соответствующих конечномерных векторных пространствах, характеризующими соответственно ресурсы управляющих воздействий и интенсивность внешних возмущений.

Для линейной динамической модели, конкретизирующей рассматриваемую нелинейную динамическую модель, в параграфе 3 данной главы предлагается математическая формализация в форме решения многошаговой задачи двухуровневого иерархического минимаксного (оптимизации гарантированного результата) программного терминального управления и предложена общая схема ее решения.

Предложенная в данном разделе многоуровневая детерминированная дискретная динамическая модель социально-экономических систем, включающих в себя системы здравоохранения, образования, инновационной деятельности и др., является естественным обобщением *одноуровневых детерминированных дискретных динамических моделей*. Потому в данном разделе рассматривается формирование *одноуровневой экономико-математической модели управления социально-экономическими системами* при наличии ограничений на технико-экономические показатели и ресурсы управления. Приводится описание общей линейной дискретной управляемой динамической системы, в рамках которой формулируются задачи *оптимального программного и адаптивного управления* относительно соответствующих *линейных терминальных целевых функций (критериев качества)* рассматриваемых процессов управления). Для этих задач описываются предлагаемые общие методы их решения, которые решение исходных многошаговых задач сводят к реализациям соответствующих конечных рекуррентных последовательностей решений задач линейного математического программирования и одношаговых операций. Эти методы основываются на *общем рекуррентном алгебраическом методе построения областей достижимости дискретных линейных управляемых динамических систем* [9, 11]. Полученные результаты позволяют разрабатывать эффективные алгоритмы решения различных задач оптимального управления социально-экономическими системами, включающих в себя системы здравоохранения, образования, инновационной деятельности и др. Результаты этого раздела основываются на исследованиях [1, 2, 9–15, 17–25].

### Формирование многоуровневой нелинейной детерминированной динамической модели социально-экономических систем

На заданном целочисленном промежутке времени  $\overline{0, T}$  ( $T \in \mathbf{N}$ ) рассматривается многошаговая динамическая система, которая состоит из  $(n+1)$ -го управляемого объекта ( $n \in \mathbf{N}$ ; здесь и далее,  $\mathbf{N}$  – множество всех натуральных чисел). Динамика объекта  $I$  (основного объекта динамической системы, например региона), управляемого доминирующим игроком  $P$  (например, субъектом управления регионом) описывается векторным нелинейным дискретным рекуррентным уравнением вида

$$y(t+1) = f(t, y(t), u(t), v(t), w(t)), \quad y(0) = y_0, \quad (2.1)$$

динамика объекта  $II_i$  ( $i$ -го вспомогательного объекта динамической системы, например,  $i$ -го муниципалитета), управляемого подчиненным игроком  $E_i$  ( $i \in \overline{1, n}$ ; например, субъектом управления  $i$ -м муниципалитетом), описывается следующим уравнением

$$z^{(i)}(t+1) = f^{(i)}(t, z^{(i)}(t), u(t), v^{(i)}(t), w^{(i)}(t)), \quad z(0) = z_0, \quad (2.2)$$

где  $t \in \overline{0, T-1}$ ;  $y(t) = (y_1(t), y_2(t), \dots, y_r(t))' \in \mathbf{R}^r$  – фазовый вектор объекта  $I$  в момент времени  $t$ ; для  $k \in \mathbf{N}$ , здесь и далее,  $\mathbf{R}^k$  –  $k$ -мерное евклидово пространство векторов-столбцов, даже если из экономии места они записаны в строку;  $z^{(i)}(t) = (z_1^{(i)}(t), z_2^{(i)}(t), \dots, z_{s_i}^{(i)}(t))' \in \mathbf{R}^{s_i}$  – фазовый вектор объекта  $II_i$  ( $i \in \overline{1, n}$ ) в момент времени  $t$ ;  $u(t) = (u_1(t), u_2(t), \dots, u_p(t))' \in \mathbf{R}^p$  – вектор управляющего воздействия (управления) доминирующего игрока  $P$  в период времени  $t$  ( $t \in \overline{0, T}$ ), удовлетворяющий заданному ограничению

$$u(t) \in U_1(t) \subset \mathbf{R}^p, \quad (2.3)$$

где  $U_1(t)$ , для каждого  $t \in \overline{0, T-1}$ , есть набор из  $N_t$  ( $N_t \in \mathbf{N}$ ) векторов в  $\mathbf{R}^p$  ( $p \in \mathbf{N}$ );  $v^{(i)}(t) = (v_1^{(i)}(t), v_2^{(i)}(t), \dots, v_{q_i}^{(i)}(t))' \in \mathbf{R}^{q_i}$  – вектор управляющего воздействия (управления) подчиненного игрока  $E_i$  ( $i \in \overline{1, n}$ ) в период времени  $t$  ( $t \in \overline{0, T-1}$ ), который зависит от допустимой реализации

управления  $u^{(j)}(t) \in U_1(t)$  игрока  $P(j \in \overline{1, N_t})$ , удовлетворяющий заданному ограничению:

$$v^{(i)}(t) \in V_1^{(i)}(u^{(j)}(t)) \subset \mathbf{R}^{q_i}, \quad (2.4)$$

где  $V_1^{(i)}(u^{(j)}(t))$  для каждого момента времени  $(t \in \overline{0, T-1})$  и управления  $u^{(j)}(t) \in U_1(t)$  игрока  $P$  есть конечный набор из  $Q_t^{(i)}(j)$  ( $Q_t^{(i)}(j) \in \mathbf{N}$ ,  $j \in \overline{1, N_t}$ ) векторов в  $\mathbf{R}^{q_i}$ ;  $v(t) = (v^{(1)}(t), v^{(2)}(t), \dots, v^{(n)}(t))' \in \mathbf{R}^q$  – вектор управления обобщенного подчиненного игрока  $E$ , объединяющего всех подчиненных игроков  $E_i$ ,  $i \in \overline{1, n}$  ( $q = \sum_{i=1}^n q_i \in \mathbf{N}$ );  $w(t) = (w_1(t), w_2(t), \dots, w_m(t))' \in \mathbf{R}^m$  – вектор помехи (возмущения) в уравнении (2.1), который в каждый период времени  $t$  ( $t \in \overline{0, T-1}$ ) зависит от допустимой реализации управления  $u^{(j)}(t) \in U_1(t)$  игрока  $P(j \in \overline{1, N_t})$  и удовлетворяет ограничению:

$$w(t) \in W_1(u^{(j)}(t)) \subset \mathbf{R}^m, \quad (2.5)$$

где  $W_1(u^{(j)}(t))$  – выпуклый, замкнутый и ограниченный многогранник пространства  $\mathbf{R}^m$  ( $m \in \mathbf{N}$ );  $(w_1^{(i)}(t), w_2^{(i)}(t), \dots, w_{m_i}^{(i)}(t))' \in \mathbf{R}^{m_i}$  – вектор помехи (возмущения) в уравнении (2.2), который в каждый период времени  $t$  ( $t \in \overline{0, T-1}$ ) зависит от допустимой реализации управления  $u^{(j)}(t) \in U_1(t)$  игрока  $P(j \in \overline{1, N_t})$ , от допустимой реализации управления  $v^{(i,k)}(t) \in V_1^{(i)}(u^{(j)}(t))$  игрока  $E_i$ , ( $j \in \overline{1, N_t}$ ;  $k \in \overline{1, Q_t^{(i)}(j)}$ ) и удовлетворяет ограничению:

$$w^{(i)}(t) \in W_1^{(i)}(u^{(j)}, v^{(i,k)}(t)) \subset \mathbf{R}^{m_i}. \quad (2.6)$$

Предполагается, что в векторном рекуррентном уравнении (2.1), описывающем динамику объекта  $I$ , для каждого фиксированного и допустимого набора  $(t, y, u, v) \in \overline{0, T-1} \times \mathbf{R}^r \times \mathbf{R}^p \times \mathbf{R}^q$  вектор-функция  $f : \overline{0, T-1} \times \mathbf{R}^r \times \mathbf{R}^p \times \mathbf{R}^q \times \mathbf{R}^m \rightarrow \mathbf{R}^r$  непрерывна по переменной  $w$  и для каждого фиксированного и допустимого набора  $(t, u, v) \in \overline{0, T-1} \times \mathbf{R}^p \times \mathbf{R}^q$  и выпуклого компакта  $Y \subset \mathbf{R}^r$  множество  $f(t, Y, u, v, W_1(u) =$

$= \{f(t, y, u, v, w), y \in Y, w \in W_1(u)\}$  есть выпуклый компакт пространства  $\mathbf{R}^r$ . В векторном рекуррентном уравнении (2.2), описывающем динамику объекта  $\Pi_i$  ( $i \in \overline{1, n}$ ), для каждого фиксированного и допустимого набора  $(t, z^{(i)}, u, v^{(i)}) \in \overline{0, T-1} \times \mathbf{R}^{s_i} \times \mathbf{R}^p \times \mathbf{R}^{q_i}$  вектор функция  $f^{(i)}: \overline{0, T-1} \times \mathbf{R}^{s_i} \times \mathbf{R}^p \times \mathbf{R}^{q_i} \times \mathbf{R}^{m_i} \rightarrow \mathbf{R}^{s_i}$  непрерывна по переменной  $w^{(i)}$  и для каждых фиксированных и допустимых набора  $(t, u, v^{(i)}) \in \overline{0, T-1} \times \mathbf{R}^p \times \mathbf{R}^{q_i}$  и выпуклого компакта  $Z^{(i)} \subset \mathbf{R}^{s_i}$  множество  $f^{(i)}(t, Z^{(i)}, u, v, W_1^{(i)}(u, v^{(i)})) = \{f^{(i)}(t, z^{(i)}, u, v^{(i)}, w^{(i)}), z^{(i)} \in Z, w^{(i)} \in W_1^{(i)}(u, v^{(i)})\}$  есть выпуклый компакт пространства  $\mathbf{R}^{s_i}$ .

Опишем информационные условия для процесса двухуровневого принятия управленческих решений в динамической системе (2.1) – (2.6).

В сфере интересов игрока  $P$  находятся возможные терминальные (финальные) состояния фазовых векторов  $y(T)$  объекта  $I$  и  $z^{(i)}(T)$  объектов  $\Pi_i$ ,  $i \in \overline{1, n}$ . При этом для каждого целочисленного промежутка времени (далее – промежутка)  $\tau, T \subseteq \overline{0, T}$  ( $\tau < T$ ) игроку  $P$  известен набор  $g(\tau) = \{\tau, y(\tau), z^{(1)}(\tau), z^{(2)}(\tau), \dots, z^{(n)}(\tau)\} \in \overline{0, T} \times \mathbf{R}^r \times \mathbf{R}^{s_1} \times \mathbf{R}^{s_2} \times \dots \times \mathbf{R}^{s_n} = \overline{0, T} \times \mathbf{R}^r \times \prod_{i=1}^n \mathbf{R}^{s_i}$  ( $g(0) = \{0, y(0), z^{(1)}(0), z^{(2)}(0), \dots, z^{(n)}(0) = \{y_0, z_0^{(1)}, z_0^{(2)}, \dots, z_0^{(n)}(\tau) = g_0\}$ ), который будем называть его  $\tau$ -позицией. Игроку  $P$  известен также принцип формирования управления  $v^{(i)}(\cdot) = \{v^{(i)}(t)\}_{t \in \tau, T-1} \forall t \in \tau, T-1: v^{(i)}(t) \in V_1^{(i)}(u(t))$  каждым из игроков  $E_i$ ,  $i \in \overline{1, n}$ , на промежутке времени  $\tau, T$ , который зависит от выбора на этом промежутке управления  $u(\cdot) = \{u(t)\}_{t \in \tau, T-1}$  ( $\forall t \in \tau, T-1: u(t) \in U_1(t)$ ) игроком  $P$ , которое сообщается им, и для каждого  $i \in \overline{1, n}$  описывается соотношением (2.4), причем выбранное каждым игроком  $E_i$  управление сообщается игроку  $P$ .

Результат реализации рассматриваемого процесса управления с позиции игрока  $P$  оценивается значением выпуклого функционала  $\alpha$ , определенного на допустимых финальных фазовых состояниях  $y(T)$  и  $z^{(i)}(T)$  объектов  $I$  и  $\Pi_i$ ,  $i \in \overline{1, n}$ , который удовлетворяет соответствующему условию Липшица. Тогда на промежутке времени  $\tau, T$  целью игрока  $P$  в



рассматриваемом процессе управления является минимизация значения выбранного функционала  $\alpha$ .

Учитывая эти обстоятельства, мы будем говорить, что такие возможности поведения игрока  $P$  совместно с объектами  $I$  и  $\Pi_i$ ,  $i \in \overline{1, n}$ , определяют доминирующий или уровень управления  $I$  для рассматриваемого процесса управления в дискретной динамической системе (2.1) – (2.6).

Предполагается, что в сфере интересов каждого игрока  $E_i$  ( $i \in \overline{1, n}$ ) находятся только возможные терминальные фазовые состояния  $z^{(i)}(T)$  объекта  $\Pi_i$  и для любого рассматриваемого промежутка времени  $\overline{\tau, T}$  ему сообщается реализация управления  $u(\cdot) = \{u(t)\}_{t \in \overline{\tau, T-1}}$  ( $\forall t \in \overline{\tau, T-1}: u(t) \in U_1(t)$ ) игрока  $P$  на этом промежутке времени, которую он должен учитывать при формировании своего управления  $v^{(i)}(t) \in V_1^{(i)}(u(t))$  для всех  $t \in \overline{\tau, T-1}$ . При этом для каждого целочисленного промежутка времени  $\overline{\tau, T} \subseteq \overline{0, T}$  ( $\tau < T$ ) ему также известен набор  $g^{(i)}(\tau) = \{\tau, z^{(i)}(\tau)\} \in \overline{0, T} \times R^{s_i}$  ( $g^{(i)}(0) = \{0, z^{(i)}(0)\} = g_0^{(i)}$ ), который будем называть  $\tau$ -позицией игрока  $E_i$ .

Результат реализации рассматриваемого процесса управления с позиции игрока  $E_i$  оценивается значением выпуклого функционала  $\beta^{(i)}$ , определенного на допустимых финальных фазовых состояниях  $z^{(i)}(T)$  объекта  $\Pi_i$  ( $i \in \overline{1, n}$ ), который удовлетворяет соответствующему условию Липшица. Тогда на промежутке времени  $\overline{\tau, T}$  целью каждого игрока  $E_i$  ( $i \in \overline{1, n}$ ) в рассматриваемом процессе управления является минимизация значения функционала  $\beta^{(i)}$ .

Совокупность  $n$  игроков  $E_i$ ,  $i \in \overline{1, n}$ , называемых также игроком  $E$  и управляемых ими объектов  $\Pi_i$ ,  $i \in \overline{1, n}$ , образуют подчиненный или уровень управления  $\Pi$  для рассматриваемого процесса управления (подчиненный доминирующему или уровню управления  $I$ ).

Отметим, что сформированная *двухуровневая иерархическая нелинейная векторная дискретная динамическая модель* (2.1) – (2.6) служит основой для *оптимизации гарантированного (минимаксного) результата управления социально-экономическими системами*, и ее линейный аналог подробно исследуется в параграфе 3 данной главы.

Ниже в этом разделе исследуется *общая одноуровневая линейная векторная дискретная динамическая модель*, которая составляет основу для решения задач многоуровневой оптимизации.

### Модельная задача оптимизации управления производством

Рассмотрим известную задачу экономико-математического моделирования процесса оптимизации управления производством на предприятии [14, 36, 38, 41], которую можно формализовать следующим образом.

Введем следующие обозначения:

$n$  – количество основных параметров, описывающих процесс производства на предприятии (промежуточных и конечных продуктов, сырья, материалов и др.;  $n \in \mathbf{N}$ ; здесь и далее в этой главе,  $\mathbf{N}$  – множество всех натуральных чисел);

$p$  – количество технологических способов организации производства ( $p \in \mathbf{N}$ );

каждый  $j$ -й способ производства ( $j \in \overline{1, p} = \{1, 2, \dots, p\}$ ) в период времени  $t \in \overline{0, T-1}$  ( $T \in \mathbf{N}$ ;  $T > 1$ ) (где  $t$ , например, месяц, квартал, год) характеризуется вектором  $(b_{1j}(t), b_{2j}(t), \dots, b_{nj}(t))' \in \mathbf{R}^n$  (здесь и далее в этой главе, для  $k \in \mathbf{N}$ ,  $\mathbf{R}^k$  –  $k$ -мерное векторное пространство векторов-столбцов, даже если из экономии места они записаны в строку, а знаки  $\leq$ ,  $\geq$ ,  $=$  и  $\neq$  используются для обозначения операций сравнения между его элементами, которые определяются естественным образом – путем соответствующего покоординатного сравнения);

если  $b_{ij}(t) < 0$ , то величина  $b_{ij}(t)$  определяет объем затрат  $i$ -го параметра ( $i \in \overline{1, n}$ ) при  $j$ -м способе производства в период времени  $t$ ;

если  $b_{ij}(t) > 0$ , то величина  $b_{ij}(t)$  определяет объем выпуска  $i$ -го продукта при  $j$ -м способе производства в период времени  $t$ ;

если  $b_{ij}(t) = 0$ , то величина  $b_{ij}(t)$  определяет отсутствие выпуска (затрат)  $i$ -го продукта при  $j$ -м способе производства в период времени  $t$ .

Обозначим через:

$u_j(t)$  – интенсивность использования  $j$ -го технологического способа производства ( $j \in \overline{1, p}$ ) в период времени  $t$  ( $u_j(t) \in \mathbf{R}^1$ );

$s_i(t)$  – величину спроса на  $i$ -й продукт ( $i \in \overline{1, n}$ ), выпускаемый в период времени  $t$  ( $s_i(t) \in \mathbf{R}^1$ ).

Предполагается, что мощности производства таковы, что они могут удовлетворить возникающий спрос на продукцию предприятия, то есть всегда имеет место неравенство

$$\forall t \in \overline{0, T-1}, \forall i \in \overline{1, n} : \sum_{j=1}^p b_{ij}(t)u_j(t) - s_i(t) \geq 0.$$

Обозначим через:

$x_i(t+1)$  – количество  $i$ -го продукта ( $i \in \overline{1, n}$ ), образовавшееся на складе к концу периода времени  $(t+1)$  (запасы в период  $(t+1)$ ), которое формируется из запасов  $x_i(t)$  предыдущего периода и образовавшихся излишков в этот период времени по формуле:

$$x_i(t+1) = x_i(t) + \sum_{j=1}^p b_{ij}(t)u_j(t) - s_i(t);$$

или в векторной форме

$$x(t+1) = x(t) + B(t)u(t) - s(t), \quad t \in \overline{0, T-1},$$

где  $x(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))' \in \mathbf{R}^n$  – вектор объемов выпуска продукции в период времени  $t$  или фазовый вектор системы;  $u(t) = (u_1(t), u_2(t), \dots, u_p(t))' \in \mathbf{R}^p$  – вектор интенсивности использования технологий в период времени  $t$  или вектор управляющего воздействия (управления) системы;  $s(t) = (s_1(t), s_2(t), \dots, s_n(t))' \in \mathbf{R}^n$  – вектор объемов спроса на продукцию в период времени  $t$ ;  $B(t) = \|b_{ij}(t)\|_{\substack{i \in \overline{1, n} \\ j \in \overline{1, p}}}$  – «технологическая матрица» производства размерности  $(n \times p)$ .

Отметим, что если в начале периода времени  $(t+1)$  на складе имелись запасы продукции (материалов, сырья и пр.) в количестве  $x(t)$ , то к концу этого периода для продажи и производства будет годна только часть, равная  $A(t)x(t)$ , где  $A(t) = \|a_i(t)\|_{i \in \overline{1, n}}$  есть диагональная матрица размерности  $(n \times n)$ , характеризующая процесс «старения» продукции за этот период времени. Тогда векторное уравнение, описывающее рассматриваемый производственный процесс, будет иметь следующий вид

$$x(t+1) = A(t)x(t) + B(t)u(t) - s(t), \quad x(0) = x_0 \quad t \in \overline{0, T-1}, \quad (2.7)$$

где  $x_0 \in \mathbf{R}^n$  – заданное начальное значение фазового вектора.

Предполагается, что в рассматриваемом процессе управления для каждого периода времени  $t$  ( $t \in \overline{0, T}$ ) значения фазового вектора

$x(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))' \in \mathbf{R}^n$  должны удовлетворять следующему заданному геометрическому ограничению:

$$x(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))' \in X^*(t) \subset \mathbf{R}^n, \quad (2.8)$$

где непустое множество  $X^*(t)$  задает имеющиеся в процессе производства технико-экономические ограничения на основные параметры производства и может описываться, например, в виде:

$$X^*(t) = \{x(t) : x(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))' \in \mathbf{R}^n, \forall i \in \overline{1, n} : 0 \leq x_i(t) \leq x_i^*(t)\},$$

где  $\forall i \in \overline{1, n} : x_i^*(t) \in \mathbf{R}^1, x_i^*(t) \geq 0$ .

Предполагается также, что в рассматриваемом процессе управления для каждого периода времени  $t$  ( $t \in \overline{0, T-1}$ ) значения вектора управления  $u(t) = (u_1(t), u_2(t), \dots, u_p(t))' \in \mathbf{R}^p$  должны удовлетворять следующему заданному геометрическому ограничению:

$$u(t) = (u_1(t), u_2(t), \dots, u_p(t))' \in U^*(t) \subset \mathbf{R}^p, \quad (2.9)$$

где непустое множество  $U^*(t)$  описывает имеющиеся в процессе производства технико-экономические ограничения на мощности производства, то есть определяет ресурс управления и может описываться, например, в следующем виде:

$$U^*(t) = \{u(t) : u(t) = (u_1(t), u_2(t), \dots, u_p(t))' \in \mathbf{R}^p, 0 \leq u_j(t) \leq u_j^*(t)\},$$

где  $\forall j \in \overline{1, p} : u_{j*}(t) \in \mathbf{R}^1, u_{j*}(t) \geq 0, u_j^*(t) \in \mathbf{R}^1, u_j^*(t) \geq 0$ .

Далее, обозначим через:

$g(t, x(t), u(t))$  — действительную функцию (функционал)  
 $g : t \in \overline{0, T-1} \times \mathbf{R}^n \times \mathbf{R}^p \rightarrow \mathbf{R}^1$ , оценивающую издержки от использования рассматриваемых технологических способов производства с интенсивностями, определяемыми вектором  $u(t) = (u_1(t), u_2(t), \dots, u_p(t))' \in U^*(t)$  при производстве продукции в количестве, определяемом вектором  $x(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))' \in X^*(t)$  в период времени  $t$  ( $t \in \overline{0, T-1}$ );

$f(t, x(t))$  — действительную функцию (функционал)  
 $f : t \in \overline{0, T-1} \times \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}^1$ , оценивающую затраты на хранение готовой продукции на складе в количестве, определяемом вектором  $x(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))' \in X^*(t)$  в период времени  $t$  ( $t \in \overline{0, T-1}$ ).

Тогда общие издержки производства за период управления  $\overline{0, T}$  определяются значением следующего критерия качества (функционала)  $\Phi: \mathbf{R}^{n \times T} \times \mathbf{R}^{n \times T} \rightarrow \mathbf{R}^1$ :

$$\Phi = \sum_{t=0}^{T-1} [g(t, x(t), u(t)) + f(t, x(t))].$$

Отметим, что такой функционал часто можно представить в виде следующей линейной функции, оценивающей издержки производства:

$$\Phi_1 = \sum_{t=0}^{T-1} [\langle c(t), x(t) \rangle_n + \langle d(t), u(t) \rangle_p], \quad (2.10)$$

где для любых векторов  $a, b \in \mathbf{R}^k$  ( $k \in \mathbf{N}$ ), здесь и далее в этой главе, символом  $\langle a, b \rangle_k$  будем обозначать скалярное произведение этих векторов в пространстве  $\mathbf{R}^k$ .

Тогда динамическая система (2.7) – (2.10) является математической моделью для рассматриваемого процесса управления производством.

В рамках сформированной математической модели (2.7) – (2.10) можно сформулировать следующую задачу оптимизации программного управления производством.

**Задача 2.1.** Для заданных промежутка управления производством  $\overline{0, T}$  и начального состояния  $x(0) = x_0 \in X^*(0)$  динамической системы (2.7) – (2.10) требуется найти такое допустимое программное управление  $u^{(e)}(\cdot) = \{u^{(e)}(t)\}_{t \in \overline{0, T-1}}$  – последовательность допустимых интенсивностей, удовлетворяющих ограничению (2.9), то есть такое, что  $\forall t \in \overline{0, T-1} : u^{(e)}(t) \in U^*(t)$ , и соответствующую ему траекторию  $x^{(e)}(\cdot) = \bar{x}(\cdot; \overline{0, T}; x_0, u^{(e)}(\cdot)) = \{x^{(e)}(t)\}_{t \in \overline{0, T}}$  системы (2.7), порожденную набором  $(x_0, u^{(e)}(\cdot))$ , являющуюся допустимой (каждый элемент последовательности значений фазового вектора системы (2.7) удовлетворяет ограничению (2.8)), то есть такую, что  $\forall t \in \overline{0, T} : x^{(e)}(t) \in X^*(t)$ ,  $x^{(e)}(0) = x_0$ , при котором значение величины общих затрат, вычисляемых согласно (2.10) и формируемых из уравнения (2.7) при заданной последовательности  $s(\cdot) = \{s(t)\}_{t \in \overline{0, T-1}}$  – значений вектора объемов спроса на продукцию, будет минимальным, то есть удовлетворяющего следующему условию оптимальности:

$$\begin{aligned}\Phi^{(e)} &= \sum_{t=0}^{T-1} [g(t, x^{(e)}(t), u^{(e)}(t)) + f(t, x^{(e)}(t))] = \sum_{t=0}^{T-1} [g(t, \bar{x}(t; \overline{0, T}, x_0, u^{(e)}(t)) + f(t, x^{(e)}(t))] = \\ &= \min_{u(\cdot) \in U^*(\cdot)} \sum_{t=0}^{T-1} [g(t, \bar{x}(t; \overline{0, T}, x_0, u(\cdot)) + f(t, x(\cdot))].\end{aligned}$$

Здесь  $U^*(\cdot)$  – множество всех допустимых программных управлений  $u(\cdot) = \{u(t)\}_{t \in \overline{0, T-1}} \in U^*(\cdot)$  субъекта управления, то есть таких, что  $\forall t \in \overline{0, T-1} : u(t) \in U^*(t)$ , и соответствующая набору  $(x_0, u(\cdot))$  траектория системы (2.7)  $x(\cdot) = \bar{x}(\cdot; \overline{0, T}; x_0, u(\cdot)) = \{x(t)\}_{t \in \overline{0, T}}$  является допустимой, то есть такой, что  $\forall t \in \overline{0, T} : x(t) \in X^*(t)$ ,  $x(0) = x_0$ .

Для описания дискретной динамической системы (2.7) – (2.10) ее параметры  $B(t)$ ,  $s(t)$ ,  $X^*(t)$  и  $U^*(t)$  для всех  $t \in \overline{0, T-1}$  должны быть известны заранее (например, формироваться, исходя из истории рассматриваемого процесса, технических и экономических прогнозов).

Отметим, что для решения данной задачи 2.1 в случае критерия качества, описываемого соотношением (2.10) и относящейся к классу задач программного управления линейной дискретной динамической системой с полной информацией, разработан эффективный *общий рекуррентный алгебраический метод* ее решения, который решение исходной задачи сводит к реализации конечной рекуррентной последовательности решений задач линейного математического программирования и одношаговых операций [11, 13, 14].

В следующих пунктах данного раздела описывается формирование математических моделей и методов решения задач *одноуровневого оптимального терминального программного и адаптивного управления* в линейной дискретной динамической системе с полной информацией, которая является обобщением рассмотренной выше экономико-математической модели задачи управления производством. Полученные результаты основываются на исследованиях [9, 11–14].

### **Описание линейной дискретной динамической модели социально-экономических систем без возмущений**

В данном пункте рассмотрим векторную линейную дискретную динамическую систему, которая описывает динамику класса социально-экономических систем без возмущений.

На заданном целочисленном промежутке времени  $\overline{0, T}$  ( $T \in \mathbf{N}$ ) рассматривается многошаговая управляемая динамическая система, которая состоит из одного управляемого объекта – объекта  $I$ , управляемого игроком  $P$  – субъектом управления, движение которого описывается линейным дискретным рекуррентным векторным уравнением вида:

$$x(t+1) = A(t)x(t) + B(t)u(t), \quad x(0) = x_0. \quad (2.11)$$

Здесь  $t \in \overline{0, T-1}$ ;  $x(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))' \in \mathbf{R}^n$  – фазовый вектор объекта  $I$ , значения которого должны удовлетворять следующему заданному геометрическому ограничению:

$$x(t) \in X^*(t) \subset \mathbf{R}^n; \quad (2.12)$$

$u(t) = (u_1(t), u_2(t), \dots, u_p(t))' \in \mathbf{R}^p$  – управляющее воздействие (управление) игрока  $P$ , стесненное заданным ограничением:

$$u(t) \in U^*(t) \subset \mathbf{R}^p \quad (p \in \mathbf{N} : p \leq n); \quad (2.13)$$

$A(t)$  и  $B(t)$  есть действительные матрицы размера  $(n \times n)$  и  $(n \times p)$ , соответственно, и такие, что для всех  $t \in \overline{0, T-1}$  матрица  $A(t)$  является невырожденной, то есть для нее существует соответствующая ей обратная матрица  $A^{-1}(t)$ , а ранг матрицы  $B(t)$  равен  $p$  (размерности вектора  $u(t)$ ). Предполагается, что множества  $X^*(t)$  и  $U^*(t)$  – непустые и являются выпуклыми, замкнутыми и ограниченными многогранниками (с конечным числом вершин) в пространствах  $\mathbf{R}^n$  и  $\mathbf{R}^p$  соответственно.

Опишем информационные возможности игрока  $P$  в процессе оптимального адаптивного (по принципу обратной связи) управления в дискретной динамической системе (2.11) – (2.13).

Предполагается, что для любого  $\tau \in \overline{1, T}$  и соответствующего целочисленного промежутка времени  $\overline{0, \tau} \subseteq \overline{0, T}$  к моменту времени  $\tau$  в процессе управления игроком  $P$  измеряются и запоминаются следующие величины:  $x(0) = x_0$  – начальное фазовое состояние объекта  $I$ ;  $u(\cdot) = \{u(t)\}_{t \in \overline{0, \tau-1}}$  – история реализации управления игрока  $P$  на промежутке  $\overline{0, \tau}$ . Уравнение (2.11) и ограничения (2.12), (2.13) для него также известны.

Рассматриваемый процесс управления оценивается значением линейного функционала  $\gamma : \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}^1$ , определенного на возможных терми-

нальных (финальных) реализациях фазового вектора  $x(T) \in \mathbf{R}^n$  объекта  $I$  в финальный момент времени  $T$ .

Тогда для системы (2.11) – (2.13) цель оптимального адаптивного управления с точки зрения игрока  $P$  содержательно может быть сформулирована следующим образом: на заданном промежутке времени  $\overline{0, T}$  требуется, чтобы игрок  $P$  организовал свое управление  $u(\cdot) = \{u(t)\}_{t \in \overline{0, T-1}}$  (для всех  $t \in \overline{0, T-1} : u(t) \in U^*(t)$ ) по принципу обратной связи (как реализацию оптимальной адаптивной стратегии из выбранного класса допустимых адаптивных стратегий), используя возможную (в силу (2.11) – (2.13)) реализацию фазового вектора системы  $x(\cdot) = \{x(t)\}_{t \in \overline{0, T}}$  совместно со всей другой доступной информацией об этом процессе, таким образом, чтобы было минимальным значение линейного терминального функционала  $\gamma$ , определенного на реализации вектора  $x(T) \in \mathbf{R}^n$ , где есть реализация фазового вектора объекта  $I$  в финальный момент времени  $T$ , соответствующая начальному фазовому вектору  $x(0) = x_0 \in X^*(t)$  управлению.

### Постановка задач оптимального программного и адаптивного терминального управления

Введем ряд определений, необходимых для строгой математической формулировки задач оптимального программного и адаптивного терминального управления для соответствующих процессов в рассматриваемой дискретной динамической системе (2.11) – (2.13).

Здесь и далее в этой главе для  $k \in \mathbf{N}$  и любого целочисленного промежутка  $i, j$  ( $i \leq j$ ) символом  $\mathbf{S}_k(\overline{i, j})$  будем обозначать метрическое пространство функций целочисленного аргумента  $\varphi : \overline{i, j} \rightarrow \mathbf{R}^k$ , в котором метрика  $\rho_k$  задается соотношением

$$\rho_k(\varphi_1(\cdot), \varphi_2(\cdot)) = \max_{t \in \overline{i, j}} \|\varphi_1(t) - \varphi_2(t)\|_k \quad ((\varphi_1(\cdot), \varphi_2(\cdot)) \in \mathbf{S}_k(\overline{i, j}) \times \mathbf{S}_k(\overline{i, j})),$$

а символом  $\text{comp}(\mathbf{S}_k(\overline{i, j}))$  – множество всех непустых и компактных в смысле этой метрики, подмножеств пространства  $\mathbf{S}_k(\overline{i, j})$ .

Здесь и далее в этой главе для любых множеств  $X$  и  $Y$  множество  $X \times Y$  есть произведение  $X$  и  $Y$ , то есть множество всех пар  $(x, y)$  таких, что



$x \in X$ ,  $y \in Y$  (аналогичное обозначение используется и для большего числа множеств).

Используя ограничение (2.13), определим множество  $U(\overline{\tau, \vartheta}) \in \text{comp}(\mathbf{S}_p(\overline{\tau, \vartheta-1}))$  допустимых программных управлений  $u(\cdot) = \{u(t)\}_{t \in \overline{\tau, \vartheta-1}}$  игрока  $P$  на промежутке времени  $\overline{\tau, \vartheta} \subseteq \overline{0, T}$  ( $\tau < \vartheta$ ) соотношением

$$U(\overline{\tau, \vartheta}) = \{u(\cdot) : u(\cdot) \in \mathbf{S}_p(\overline{\tau, \vartheta-1}), \forall t \in \overline{\tau, \vartheta-1}, u(t) \in U^*(t)\}.$$

Назовем набор  $w(\tau) = \{\tau, x(\tau)\} \in \overline{0, T} \times \mathbf{R}^n$  ( $w(0) = w_0 = \{0, x_0\}$ ) –  $\tau$ -позиция игрока  $P$  в дискретной динамической системе (2.11) – (2.13).

Для каждого момента времени  $\tau \in \overline{0, T}$  определим также множество  $\hat{W}(\tau) = \{\tau\} \times \mathbf{R}^n$  ( $\hat{W}(0) = \hat{W}_0 = \{w(0) = w_0 : w_0 = \{0, x_0\} \in \{0\} \times \mathbf{R}^n\}$ ) всех допустимых  $\tau$ -позиций игрока  $P$ .

Для фиксированных промежутка времени  $\overline{\tau, \vartheta} \subseteq \overline{0, T}$ , ( $\tau < \vartheta$ ),  $\tau$ -позиции  $w(\tau) = \{\tau, x(\tau)\} \in \hat{W}(\tau)$  игрока  $P$  и его допустимого программного управления  $u(\cdot) \in U(\overline{\tau, \vartheta})$  определим следующее множество:

$$\begin{aligned} W(\tau, w(\tau), \vartheta, u(\cdot)) &= \{w(\vartheta) : w(\vartheta) \in \hat{W}(\vartheta), \\ w(\vartheta) &= \{\vartheta, x(\vartheta)\}, x(\vartheta) = \bar{x}(\vartheta; \tau, \vartheta, x(\tau), u(\cdot)) \in X^*(t)\}, \end{aligned} \quad (2.14)$$

которое будем называть множеством допустимых  $\vartheta$ -позиций игрока  $P$ , отвечающим его  $\tau$ -позиции  $w(\tau)$  и управлению  $u(\cdot)$ .

Здесь вектор  $x(\vartheta) = \bar{x}(\vartheta; \tau, \vartheta, x(\tau), u(\cdot)) \in \mathbf{R}^n$  определяет сечение движения объекта  $I$  на промежутке времени  $\overline{\tau, \vartheta}$  в момент времени  $\vartheta$ , порожденного в силу (2.11) парой  $(x(\tau), u(\cdot))$  ( $x(\tau) \in X^*(\tau)$ ,  $\forall t \in \overline{\tau, \vartheta-1}$ ,  $u(t) \in U^*(t)$ ).

Используя определение (2.14) и условия, которые оговорены для системы (2.11) – (2.13), можно доказать [11, 13, 14], что справедливо следующее вспомогательное утверждение.

**Лемма 2.1.** Для фиксированного промежутка времени  $\overline{\tau, \vartheta} \subset \overline{0, T}$  ( $0 < \tau < \vartheta$ ) и для возможной в силу (2.11) – (2.13) реализации набора  $(w_0, u(\cdot)) \in \hat{W}_0 \times U(\overline{0, \vartheta})$ , соответствующего промежутку времени  $\overline{0, \vartheta}$ , справедливо следующее соотношение:

$$W(0, w_0, \mathcal{G}, u(\cdot)) = W(\tau, w_*(\tau), \mathcal{G}, \tilde{u}(\cdot)), \quad (2.15)$$

где для  $\tau$ -позиции  $w_*(\tau) = \{\tau, x_*(\tau)\} \in \hat{W}(\tau)$  игрока  $P$  и его управления  $\tilde{u}(\cdot) \in U(\tau, \mathcal{G})$  должны выполняться следующие соотношения:

$$x_*(\tau) = \bar{x}(\tau; 0, \tau, x_0, u_*(\cdot)) \in \mathbf{R}^n, \quad u_*(\cdot) = \{u(t)\}_{t \in [0, \tau-1]} \in U(0, \tau), \quad \tilde{u}(\cdot) = \{u(t)\}_{t \in [\tau, \mathcal{G}-1]} \in U(\tau, \mathcal{G}).$$

Тогда для оценивания качества процесса управления игроком  $P$  в динамической системе (2.11) – (2.13) на промежутке времени  $\tau, T \subseteq 0, T$  определим линейный терминальный функционал  $\Phi_{\tau, T} : \hat{W}(\tau) \times U(\tau, T) \rightarrow \mathbf{R}^1$  таким образом, что для реализации набора  $(w(\tau), u(\cdot)) \in \hat{W}(\tau) \times U(\tau, T)$  и заданного числа  $k \in \mathbf{N}$  ( $k \leq n$ ) его значение определяется соотношением

$$\Phi_{\tau, T}(w(\tau), u(\cdot)) = \gamma(x(T)) = \langle a, \{x(T)\}_k \rangle_k \quad (\{x(T)\}_k = \{\bar{x}(\cdot; \tau, T, x(\tau), u(\cdot))\}_k), \quad (2.16)$$

где  $w(\tau) = \{\tau, x(\tau)\} \in \hat{W}(\tau)$  ( $w(0) = w_0$ );  $x(T) = \bar{x}(\cdot; \tau, T, x(\tau), u(\cdot)) \in \mathbf{R}^n$  определяет сечение движения объекта  $I$  на промежутке времени  $\tau, T$  в момент времени  $T$ , порожденного в силу (2.11) парой  $(x(\tau), u(\cdot))$ , а  $\{x(T)\}_k \in \mathbf{R}^k$  –  $k$ -проекция вектора  $x(T) \in \mathbf{R}^n$ ;  $a \in \mathbf{R}^k$  – фиксированный вектор;  $\gamma : \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}^1$  – заданный линейный терминальный функционал.

Тогда на основании изложенного выше можно сформулировать с позиции игрока  $P$  его цель во вспомогательной задаче оптимального программного управления для дискретной динамической системы (2.11) – (2.13) следующим образом.

Будем считать, что игрок  $P$  на промежутке времени  $\tau, T \subseteq 0, T$  ( $\tau < T$ ) заинтересован в таком исходе процесса управления, описываемого дискретной динамической системой (2.11) – (2.13) – путем влияния на него возможным выбором своих допустимых программных управлений  $u(\cdot) \in U(\tau, T)$ , при котором для заданного в момент времени значения фазового вектора системы  $x(\tau) \in X^*(\tau)$  ( $x(0) = x_0 \in X^*(0)$ ) линейный терминальный функционал  $\Phi_{\tau, T}$ , определенный соотношением (2.16), принимает наименьшее возможное значение.

Достижение этой цели игроком  $P$  реализуется в рамках решения следующей многошаговой задачи оптимального терминального программного управления для дискретной динамической системы (2.11) – (2.13), (2.16).

**Задача 2.2.** Для рассматриваемой на промежутке времени  $\tau, T \subseteq 0, T$  ( $\tau < T$ ) дискретной динамической системы (2.11) – (2.13) и заданных начальной позиции  $\underline{w}(0) = \{0, x(0)\} = \{0, x_0\} = w_0 \in \hat{W}_0$ , реализации на промежутке времени  $0, \tau$  допустимого программного управления  $u_*^{(e)}(\cdot) \in U(0, \tau)$  игрока  $P$  и заданной соотношением (2.16) линейной терминальной целевой функции  $\Phi_{\tau, T}$ , требуется найти  $\tau$ -позицию  $w^{(e)}(\tau) = \{\tau, x^{(e)}(\tau)\} \in \hat{W}(\tau)$  игрока  $P$ , где фазовый вектор  $x^{(e)}(\tau) = \bar{x}(\cdot; \tau, T, x_0, u_*^{(e)}(\cdot))$  ( $x^{(e)}(0) = x_0 \in X^*(\tau)$ ) объекта  $I$  соответствует паре  $(x_0, u^{(e)}(\cdot))$ , множество  $U_\gamma^{(e)}(\tau, T, w^{(e)}(\tau)) \subseteq U(\tau, T)$  программных управлений  $u^{(e)}(\cdot) \in U(\tau, T)$  игрока  $P$  и число  $\Phi_{\tau, T}^{(e)} = c_\gamma^{(e)}(\tau, T, w(\tau))$ , которые удовлетворяют следующему условию оптимальности:

$$U_\gamma^{(e)}(\tau, T, w^{(e)}(\tau)) = \{u^{(e)}(\cdot) : u^{(e)}(\cdot) \in U(\tau, T),$$

$$\Phi_{\tau, T}^{(e)} = \Phi_{\tau, T}(w^{(e)}(\tau), u^{(e)}(\cdot)) = \min_{u(\cdot) \in U(\tau, T)} \gamma(w^{(e)}(\tau), u(\cdot)) = c_\gamma^{(e)}(\tau, T, w^{(e)}(\tau))\}, \quad (2.17)$$

как реализацию конечной последовательности только одношаговых операций.

Множество  $U_\gamma^{(e)}(\tau, T, w^{(e)}(\tau))$  будем называть *множеством оптимальных терминальных программных управлений игрока  $P$* , а число  $\Phi_{\tau, T}^{(e)} = c_\gamma^{(e)}(\tau, T, w^{(e)}(\tau))$  будем называть *оптимальным значением результата терминального программного управления на промежутке времени  $\tau, T$  для дискретной динамической системы (2.11) – (2.13) относительно  $\tau$ -позиции  $w^{(e)}(\tau)$  игрока  $P$  и функционала  $\Phi_{\tau, T}$* .

Отметим, что решение данной задачи, определяемое соотношением (2.17), существует [11, 13, 14], и в следующем пункте будет приведена конструктивная общая схема его нахождения.

Пусть на заданном промежутке времени  $0, T$  ( $T > 0$ ) игрок  $P$ , располагаясь выбором управления  $u(t) \in U^*(t)$ ,  $t \in 0, T-1$  в системе (2.11) – (2.13), находится в условиях информированности, оговоренных в пункте «Описание линейной дискретной динамической модели социально-экономических систем без возмущения». Тогда на основании изложенного можно сформулировать с позиции игрока  $P$  его цель в задаче оптимального терминального адаптивного управления для дискретной динамической системы (2.11) – (2.13) следующим образом.

Будем считать, что игроку  $P$  на промежутке времени  $\overline{0, T}$  требуется так организовать выбор своего управления  $u(\cdot) = \{u(t)\}_{t \in \overline{0, T-1}}$  (для всех  $t \in \overline{0, T-1}$ :  $u(t) \in U^*(t)$ ) объектом  $I$  в адаптивном режиме (по принципу обратной связи) на основании знания в каждый момент времени  $t \in \overline{0, T-1}$  своей  $t$ -позиции  $w(t) = \{t, x(t)\} \in \hat{W}(t)$  ( $w(0) = w_0 \in \hat{W}_0$ ), чтобы при завершении реализации процесса управления терминальный функционал  $\Phi_{\tau, T}$ , определенный соотношением (2.16), принимал наименьшее возможное значение.

Тогда, используя предыдущие рассуждения и аналогично [11, 12], можно формализовать достижение этой цели игрока  $P$  следующим образом.

Допустимой стратегией терминального адаптивного управления  $U_a$  игрока  $P$  для дискретной управляемой динамической системы (2.11) – (2.13) на промежутке времени  $\overline{0, T}$  будем называть отображение, которое каждому моменту времени  $t \in \overline{0, T-1}$  и возможной реализации  $t$ -позиции  $w(t) = \{t, x(t)\} \in \hat{W}(t)$  ( $w(0) = w_0$ ) назначает множество  $U_a(w(t)) \subseteq U^*(t)$  управлений  $u(t) \subseteq U^*(t)$  игрока  $P$ . Обозначим множество всех допустимых стратегий терминального адаптивного управления игрока  $P$  для рассматриваемого процесса через  $U_a^*$ .

Далее пучком движений объекта  $I$  на промежутке времени  $\overline{0, T}$ , соответствующим уравнению движения (2.11), начальной позиции  $w_0 = \{0, x_0\} \in \hat{W}_0$  игрока  $P$  и его допустимой стратегии  $U_a = U_a(w^*(t)) \in U_a^*$ ,  $w^*(t) = \{t, x^*(t)\} \in \hat{W}(t)$ ,  $t \in \overline{0, T-1}$ , будем называть множество:

$$\begin{aligned} X(\cdot; \overline{0, T}, w_0, U_a) &= \{x^*(\cdot) : x^*(\cdot) \in S_n(\overline{0, T}), \exists u^*(\cdot) \in U(\overline{0, T}), \\ &\forall t \in \overline{0, T}, x^*(t) = \bar{x}(t; \overline{0, T}, x_0, u^*(\cdot)), \\ w^*(t) &= \{t, x^*(t)\} \in W(0, w_0, t, u_t^*(\cdot)) \subseteq \hat{W}(t), w^*(0) = w_0, \\ u_t^*(\cdot) &= \{u^*(\tau)\}_{\tau \in \overline{0, t-1}}, \forall t \in \overline{0, T-1}, u^*(t) \in U_a(w^*(t))\}. \end{aligned} \quad (2.18)$$

Тогда можно сформулировать следующую многошаговую задачу оптимального терминального адаптивного управления для дискретной динамической системы (2.11) – (2.13), (2.16).

**Задача 2.3.** Для заданных промежутка времени  $\overline{0, T}$  ( $T > 0$ ) начальной позиции  $w_0 = \{0, x_0\} \in \hat{W}_0$  игрока  $P$  в дискретной динамической системе (2.11) – (2.13) и линейного терминального функционала  $\Phi_{\overline{0, T}}$ , определенного соотношением (2.16) при  $\overline{\tau, T} = \overline{0, T}$ , требуется найти его стратегию оптимального терминального адаптивного управления  $U_a^{(e)} = U_a^{(e)}(w(t)) \in U_a^*$ ,  $w(t) = \{t, x(t)\} \in \hat{W}(t)$ ,  $t \in \overline{0, T-1}$ ,  $w(0) = w_0 \in \hat{W}_0$ , которая удовлетворяет следующему условию оптимальности

$$\begin{aligned} \Phi_{\overline{0, T}}(w_0, U_a^{(e)}) &= \min_{U_a \in U_a^*} \Phi_{\overline{0, T}}(w_0, U_a) = \min_{U_a \in U_a^*} \min_{x(T) \in X(T; \overline{0, T}, w_0, U_a)} \gamma(x(T)) = \\ &= \min_{x(T) \in X(T; \overline{0, T}, w_0, U_a^{(e)})} \gamma(x(T)) = c_{a, \gamma}^{(e)}(\overline{0, T}, w_0) \end{aligned} \quad (2.19)$$

как реализацию конечной последовательности только одношаговых операций.

Число  $c_{a, \gamma}^{(e)}(\overline{0, T}, w_0)$  будем называть *оптимальным значением результата терминального адаптивного управления* игрока  $P$  на промежутке времени  $\overline{0, T}$  для дискретной динамической системы (2.11) – (2.13), (2.16) относительно его начальной позиции  $w_0$  и функционала  $\Phi_{\overline{\tau, T}}$ .

Отметим, что из описанных выше условий на параметры системы (2.11) – (2.13), (2.16) решение данной задачи существует [11, 12] и в следующем разделе будет приведена конструктивная общая схема для его нахождения.

Далее, для любых реализаций управления  $u_a^{(e)}(\cdot) = \{u_a^{(e)}(t)\}_{t \in \overline{0, T-1}}$ ,  $\forall t \in \overline{0, T-1}$ :  $u_a^{(e)}(t) \in U_a^{(e)}(w^{(e)}(t))$  игрока  $P$ , порожденной стратегией  $U_a^{(e)} \in U_a^*$ , и соответствующего ему движения  $x^{(e)}(\cdot) = \bar{x}(\cdot; \overline{0, T}, x_0, u_a^{(e)}(\cdot)) \in X(\cdot; \overline{0, T}, w_0, U_a^{(e)})$  на основании соотношений (2.12) – (2.15), (2.19) нетрудно показать справедливость следующего неравенства:

$$\Phi_{\overline{0, T}}(w_0, u_a^{(e)}(\cdot)) = \gamma(x_T(\cdot; \overline{0, T}, x_0, u_a^{(e)}(\cdot))) = \gamma(x^{(e)}(T)) \leq c_{a, \gamma}^{(e)}(\overline{0, T}, w_0) \leq c_{\gamma}^{(e)}(\overline{0, T}, w_0), \quad (2.20)$$

где  $w^{(e)}(0) = w_0 = \{0, x_0\} \in \hat{W}_0$ ;  $\forall t \in \overline{1, T-1}$ :  $w^{(e)}(t) = \{t, x^{(e)}(t)\} \in W(0, w_0, t, u_{a, t}^{(e)}(\cdot)) \subseteq \hat{W}(t)$ ,  $x^{(e)}(t) = \bar{x}(t; \overline{0, t}, x_0, u_{a, t}^{(e)}(\cdot))$ ;  $u_{a, t}^{(e)}(\cdot) = \{u_a^{(e)}(\tau)\}_{\tau \in \overline{0, t-1}}$ .

Таким образом, в данном пункте этого раздела приведена формализация двух основных и взаимосвязанных между собой задач оптимального

терминального программного и адаптивного управления для дискретной динамической системы (2.11) – (2.13), (2.16).

Отметим, что задача 2.3 является основной, но ее формализация и решение базируются на сформулированной задаче 2.2.

### Общие схемы решения задач 2.2 и 2.3

В этом пункте проведем анализ многошаговых задач 2.2 и 2.3 соответственно оптимального терминального программного и адаптивного управления для дискретной динамической системы (2.11) – (2.13), (2.16) и приведем описание общих схем их решения.

Зафиксируем промежуток времени  $\overline{\tau, \vartheta} \subseteq \overline{0, T}$  ( $\tau < \vartheta$ ). Тогда для любых фиксированных наборов  $(\tau, X(\tau)) \in \{\tau\} \times 2^{\mathbf{R}^n}$  и  $(\vartheta, X(\vartheta)) \in \{\vartheta\} \times 2^{\mathbf{R}^n}$  (здесь и далее в этой главе для любого множества  $X$  символом  $2^X$  будем обозначать множество всех подмножеств множества  $X$ ) определим в силу (2.11) – (2.13) следующие множества:

$$X^{(+)}(\tau, X(\tau), \vartheta) = \{x(\vartheta) : x(\vartheta) \in \mathbf{R}^n, x(t+1) = A(t)x(t) + B(t)u(t) \in X^*(t), t \in \overline{\tau, \vartheta-1}, x(\tau) \in X(\tau), u(t) \in U^*(t)\}; \quad (2.21)$$

$$X^{(-)}(\vartheta, X(\vartheta), \tau) = \{x(\tau) : x(\tau) \in \mathbf{R}^n, x(t-1) = A^{-1}(t-1)[x(t) - B(t-1)u(t-1)], t \in \{\vartheta, \vartheta-1, \dots, \tau+2, \tau+1\}, x(\vartheta) \in X(\vartheta), u(t-1) \in U^*(t)\}; \quad (2.22)$$

$$X_t^{(e)}(\overline{\tau, \vartheta}, X(\tau), X(\vartheta)) = X^{(+)}(\tau, X(\tau), t) \cap X^{(-)}(\vartheta, X(\vartheta), t), \quad (2.23)$$

где  $t \in \{\vartheta-1, \vartheta-2, \dots, \tau+2, \tau+1\}$ .

Здесь множество  $X^{(+)}(\tau, X(\tau))$  есть прямая область достижимости [4, 5, 11] возможных состояний фазового вектора объекта  $I$  на момент времени  $\vartheta$ , отвечающая набору  $(\tau, X(\tau))$  и учитывающая наличие фазового ограничения (2.12), а  $X^{(-)}(\vartheta, X(\vartheta), \tau)$  есть обратная область достижимости возможных состояний фазового вектора объекта  $I$  на момент времени  $\tau$ , отвечающая набору  $(\vartheta, X(\vartheta))$ .

Ниже проведем анализ основных элементов и возможностей решения этих подзадач.

Зафиксируем промежуток времени  $\overline{\tau, \vartheta} \subseteq \overline{0, T}$  ( $\tau < \vartheta$ ) и набор  $(t-1, X(t-1)) \in \overline{\tau, \vartheta-1} \times 2^{\mathbf{R}^n}$ , где  $X(t-1)$  есть выпуклый, замкнутый и огра-

нический многогранник (с конечным числом вершин) в пространстве  $\mathbf{R}^n$ . Пусть множество  $X^{(+)}(t) = X^{(+)}(t-1, X(t-1), t)$  соответствует определению (2.21), то есть является прямой областью достижимости объекта  $I$  на шаг вперед, отвечающей набору  $(t-1, X(t-1))$ . Тогда из этого определения и сделанных выше предположений следует, что для всех  $t \in \overline{\tau+1, \vartheta}$  множество  $X^{(+)}(t)$  есть непустой, выпуклый, замкнутый и ограниченный многогранник (с конечным числом вершин) пространства  $\mathbf{R}^n$  [19, 21, 22]. Известно также (см., например, [45, 46]), что любая точка  $x$  выпуклого, замкнутого и ограниченного многогранника  $X^{(+)}(t)$  представима в виде

$$x = \sum_{i=1}^{n_t} \alpha_i x_*^{(i)}, \quad \sum_{i=1}^{n_t} \alpha_i = 1, \quad \alpha_i \geq 0, \quad i \in \overline{1, n_t},$$

где  $\{x_*^{(i)}\}_{i \in \overline{1, n_t}}$  есть множество всех вершин многогранника  $X^{(+)}(t)$ , а  $n_t \in \mathbf{N}$  есть число его вершин. Тогда если известны вершины многогранника  $X^{(+)}(t)$ , то можно считать, что это множество сконструировано.

Предположим, что множество  $X(t-1)$  уже сконструировано ( $t \in \overline{\tau+1, \vartheta}$ ). Тогда нетрудно доказать следующее вспомогательное утверждение.

**Лемма 2.2.** Пусть на фиксированном промежутке времени  $\tau, \vartheta \subseteq \overline{0, T}$  ( $\tau < \vartheta$ ) для  $t \in \tau+1, \vartheta$  множество  $X(t-1)$  непустое и является выпуклым, замкнутым и ограниченным многогранником (с конечным числом вершин) в пространстве  $\mathbf{R}^n$  и на основании (2.11), (2.12) конструируются множества:

$$\bar{X}_n^{(+)}(t) = \{\bar{x}(t) : \bar{x}(t) \in \mathbf{R}^n, \bar{x}(t) = A(t-1)x(t-1) \in X^*(t), x(t-1) \in X(t-1)\};$$

$$\hat{X}_n^{(+)}(t) = \{\hat{x}(t) : \hat{x}(t) \in \mathbf{R}^n, \hat{x}(t) = A(t-1)x(t-1) \in X^*(t), x(t-1) \in \Gamma_n(X(t-1))\}.$$

Тогда  $\Gamma_n(\bar{X}_n^{(+)}(t)) = \Gamma_n(\text{co}_n \hat{X}_n^{(+)}(t))$  (здесь и ниже  $\Gamma_m(M)$  есть множество всех вершин многогранника  $M \subset \mathbf{R}^m$ ,  $m \in \mathbf{N}$ ,  $\text{co}_m M$  есть выпуклая оболочка этого множества).

Сформулируем подобное утверждение и для управляющей части уравнения (2.11).

**Лемма 2.3.** Пусть на фиксированном промежутке времени  $\tau, \vartheta \subseteq \overline{0, T}$  ( $\tau < \vartheta$ ) для  $t \in \tau+1, \vartheta$ , на основании (2.11), (2.13) конструируются множества:

$$\begin{aligned}\bar{H}_n^{(+)}(t) &= \{\bar{h}(t) : \bar{h}(t) \in \mathbf{R}^n, \bar{h}(t) = B(t-1)u(t-1), u(t-1) \in U^*(t-1)\}; \\ \hat{H}_n^{(+)}(t) &= \{\hat{h}(t) : \hat{h}(t) \in \mathbf{R}^n, \hat{h}(t) = B(t-1)u(t-1), u(t-1) \in \Gamma_p(U^*(t-1))\}.\end{aligned}$$

Тогда  $\Gamma_n(\bar{H}_n^{(+)}(t)) = \Gamma_n(\text{co}_n \hat{H}_n^{(+)}(t))$ .

Учитывая леммы 2.2 и 2.3, можно доказать, что справедливо следующее утверждение [11, 19].

**Теорема 2.1.** Пусть на фиксированном промежутке времени  $\overline{\tau, \vartheta} \subseteq \overline{0, T}$  ( $\tau < \vartheta$ ) для  $t \in \tau+1, \vartheta$  множество  $X(t-1)$  есть непустой, выпуклый, замкнутый и ограниченный многогранник (с конечным числом вершин) в пространстве  $\mathbf{R}^n$  и множество  $\tilde{X}^{(+)}(t)$  конструируется в виде  $\tilde{X}^{(+)}(t) = \{\tilde{x}(t) : \tilde{x}(t) \in \mathbf{R}^n, \tilde{x}(t) = \hat{x}(t) + \hat{h}(t), \hat{x}(t) \in \hat{X}_n^{(+)}(t), \hat{h}(t) \in \hat{H}_n^{(+)}(t)\}.$

Тогда имеет место следующее равенство

$$X^{(+)}(t) = X^{(+)}(t-1, X(t-1), t) = \text{co}_n \tilde{X}^{(+)}(t).$$

Отметим, что, учитывая линейность рекуррентной системы (2.11), описывающей динамику объекта  $I$ , и теорему 2.1 для введенных на промежутке времени  $\overline{\tau, \vartheta} \subseteq \overline{0, T}$  ( $\tau < \vartheta$ ) соотношениями (2.21) и (2.22) соответственно прямой области достижимости  $X^{(+)}(\tau, X(\tau), \vartheta) \in 2^{\mathbf{R}^n}$  объекта  $I$  и его обратной области достижимости  $X^{(-)}(\vartheta, X(\vartheta), \tau) \in 2^{\mathbf{R}^n}$ , отвечающих соответственно наборам  $(\tau, X(\tau)) \in \{\tau\} \times 2^{\mathbf{R}^n}$  и  $(\vartheta, X(\vartheta)) \in \{\vartheta\} \times 2^{\mathbf{R}^n}$ , справедливо следующее вспомогательное утверждение.

**Лемма 2.4.** Пусть для фиксированных промежутка времени  $\overline{\tau, \vartheta} \subseteq \overline{0, T}$  ( $\tau < \vartheta$ ) и наборов  $(\tau, X(\tau)) \in \{\tau\} \times 2^{\mathbf{R}^n}$ ,  $(\vartheta, X(\vartheta)) \in \{\vartheta\} \times 2^{\mathbf{R}^n}$ , где множества  $X(\tau)$  и  $X(\vartheta)$  есть непустые, выпуклые, замкнутые и ограниченные многогранники (с конечным числом вершин) в пространстве  $\mathbf{R}^n$ , области достижимости  $X^{(+)}(\tau, X(\tau), \vartheta) \in 2^{\mathbf{R}^n}$  и  $X^{(-)}(\vartheta, X(\vartheta), \tau) \in 2^{\mathbf{R}^n}$  объекта  $I$  определены соответственно в силу (2.21) и (2.22). Тогда, учитывая предположения, сделанные относительно элементов динамической системы (2.11) – (2.13), справедливы следующие свойства этих областей:

1)  $X^{(+)}(\tau, X(\tau), t) = X^{(+)}(t)$  для всех  $t \in \tau+1, \vartheta$  есть непустой выпуклый замкнутый и ограниченный многогранник (с конечным числом вершин) в пространстве  $\mathbf{R}^n$ ;



2) для всех  $t \in \overline{\tau, \mathcal{G}-1}$  и  $X^{(+)}(\tau) = X(\tau)$  справедливо рекуррентное соотношение:

$$X^{(+)}(\tau, X(\tau), t+1) = X^{(+)}(t, X^{(+)}(t), t+1); \quad (2.24)$$

3)  $X^{(-)}(\mathcal{G}, X(\mathcal{G}), t) = X^{(-)}(t)$  для всех  $t \in \overline{\tau, \mathcal{G}-1}$  есть непустой выпуклый замкнутый и ограниченный многогранник (с конечным числом вершин) в пространстве  $\mathbf{R}^n$ ;

4) для всех  $t \in \overline{\tau+1, \mathcal{G}}$  и  $X^{(-)}(\mathcal{G}) = X(\mathcal{G})$  справедливо рекуррентное соотношение:

$$X^{(-)}(\mathcal{G}, X(\mathcal{G}), t-1) = X^{(-)}(t, X^{(-)}(t), t-1). \quad (2.25)$$

Тогда из соотношений (2.24) и (2.25) этого утверждения следует, что многошаговые задачи построения прямой области достижимости  $X^{(+)}(\tau, X(\tau), \mathcal{G}) \in 2^{\mathbf{R}^n}$  объекта  $I$  и его обратной области достижимости  $X^{(-)}(\mathcal{G}, X(\mathcal{G}), \tau) \in 2^{\mathbf{R}^n}$  сводятся к решению конечных рекуррентных последовательностей только одношаговых задач построения соответственно следующих областей достижимости:

$$X^{(+)}(t+1) = X^{(+)}(t, X^{(+)}(t), t+1), \quad t \in \overline{\tau, \mathcal{G}-1}, \quad X^{(+)}(\tau) = X(\tau); \quad (2.26)$$

$$X^{(-)}(t-1) = X^{(-)}(t, X^{(-)}(t), t-1), \quad t \in \{\mathcal{G}, \mathcal{G}-1, \dots, \tau+2, \tau+1\}, \quad X^{(-)}(\mathcal{G}) = X(\mathcal{G}). \quad (2.27)$$

Для фиксированных  $\tau$ -позиции  $w(\tau) = \{\tau, x(\tau)\} \in \hat{W}(\tau)$  ( $w(0) = w_0 \in \hat{W}_0$ ) и реализации допустимого программного управления  $u_*^{(e)}(\cdot) = \{u_*^{(e)}(t)\}_{t \in \overline{\tau, \mathcal{G}-1}} \in U(\overline{\tau, \mathcal{G}})$  игрока  $P$  сконструируем в силу (2.11) – (2.13) его  $\mathcal{G}$ -позицию  $\tilde{w}^{(e)}(\mathcal{G}) = \{\mathcal{G}, \tilde{x}^{(e)}(\mathcal{G})\} \in \hat{W}(\mathcal{G})$  используя следующую рекуррентную формулу:

$$\tilde{x}^{(e)}(t) = A(t-1)\tilde{x}^{(e)}(t-1) + B(t-1)u_*^{(e)}(t-1), \quad t \in \overline{\tau+1, \mathcal{G}}$$

$$(t = \tau = 0: \tilde{x}^{(e)}(0) = x_0, \quad t = \tau > 0: \tilde{x}^{(e)}(\tau) = x(\tau)). \quad (2.28)$$

Пусть определенный ранее для задачи 2.2 соотношением (2.16) терминальный функционал  $\Phi_{\tau, \tau}$ , значения которого вычисляются на основании

линейного терминального функционала  $\gamma: \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}^1$ , оценивает результат ее решения на промежутке времени  $\overline{\tau, T}$ . Тогда для любых фиксированных промежутка времени  $\overline{0, \tau}$  ( $\tau < T$ ), начальной позиции  $w(0) = w_0 \in \hat{W}_0$ , допустимых реализаций программного управления  $u_*^{(e)}(\cdot) \in U(\overline{0, \tau})$  и  $\tau$ -позиции  $\tilde{w}(\tau) = \{\tau, \tilde{x}^{(e)}(\tau)\} \in W(0, w_0, \tau, u_*^{(e)}(\cdot))$  игрока  $P$ , где  $\tilde{x}^{(e)}(\tau) = \bar{x}(\tau; \overline{0, \tau}, x_0, u_*^{(e)}(\cdot))$  ( $\tilde{x}^{(e)}(0) = x_0 \in X^*(\tau)$ ), сформированное согласно (2.21) множество  $X^{(+)}(\tau, \{\tilde{x}^{(e)}(\tau)\}, T) \in \mathbf{2}^{\mathbf{R}^n}$  есть прямая область достижимости фазовых состояний объекта  $I$  на момент времени  $T$ , отвечающая набору  $(\tau, \{\tilde{x}^{(e)}(\tau)\})$ .

Тогда на основании сделанных построений решение многошаговой задачи 2.2 можно свести к реализации конечной рекуррентной последовательности только одношаговых операций в виде решения следующих пяти подзадач:

1) для фиксированных промежутка времени  $\overline{\tau, \vartheta} \subseteq \overline{0, T}$  ( $\tau < T$ ), начальной позиции  $w(0) = \{0, x_0\} \in \hat{W}_0$  игрока  $P$  и реализации на промежутке  $\overline{\tau, T}$  допустимого программного управления  $u_*^{(e)}(\cdot) \in U(\overline{0, \tau})$  осуществляется решение задачи формирования  $\tau$ -позиции  $\tilde{w}(\tau) = \{\tau, \tilde{x}^{(e)}(\tau)\} \in W(0, w_0, \tau, u_*^{(e)}(\cdot))$  игрока  $P$ , где  $\tilde{x}^{(e)}(\tau) = \bar{x}(\tau; \overline{0, \tau}, x_0, u_*^{(e)}(\cdot))$  ( $\tilde{x}^{(e)}(0) = x_0 \in X_0^*$ ) (решается в соответствии с рекуррентным соотношением (2.28) при  $\overline{\tau, \vartheta} = \overline{\tau, T}$  и представляет собой реализацию конечной рекуррентной последовательности только одношаговых операций);

2) решение задачи построения прямой области достижимости  $X^{(+)}(\tau, \{\tilde{x}^{(e)}(\tau)\}, T) \in \mathbf{2}^{\mathbf{R}^n}$  (решается с помощью прямой рекуррентной конструкции);

3) решение задачи оптимизации линейного терминального функционала  $\gamma: \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}^1$ , который определен формулой (2.16), на множестве  $X^{(+)}(\tau, \{\tilde{x}^{(e)}(\tau)\}, T) \in \mathbf{2}^{\mathbf{R}^n}$ , а именно определения множества финальных состояний объекта  $I$   $\tilde{X}_\gamma^{(e)}(T) \subseteq X^{(+)}(\tau, \{\tilde{x}^{(e)}(\tau)\}, T)$  и терминального значения качества  $\tilde{\Phi}_{\tau, T}^{(e)} = \Phi_{\tau, T}(\tilde{w}^{(e)}, \tilde{u}^{(e)}(\cdot)) = \tilde{c}_\gamma^{(e)}(\tau, T, \tilde{w}^{(e)}(\tau))$  из решения следующей одношаговой оптимизационной задачи:

$$\tilde{X}_\gamma^{(e)}(T) = X_\gamma^{(e)}(\tau, \{\tilde{x}^{(e)}(\tau)\}, T) = \{\tilde{x}^{(e)}(T) : \tilde{x}^{(e)}(T) \in X^{(+)}(\tau, \{\tilde{x}^{(e)}(\tau)\}, T),$$

$$\begin{aligned} \tilde{\Phi}_{\tau, T}^{(e)} &= \Phi_{\tau, T}(\tilde{w}^{(e)}, \tilde{u}^{(e)}(\cdot)) = \tilde{c}_\gamma^{(e)}(\tau, T, \tilde{w}^{(e)}(\tau)) = \\ &= \gamma(\tilde{x}^{(e)}(T)) = \langle a, \{\tilde{x}^{(e)}(T)\}_k \rangle_k = \min_{\{x(T)\}_k \in \{X^{(+)}(\tau, \tilde{x}^{(e)}(\tau), T)\}_k} \langle a, \{x(T)\}_k \rangle_k \end{aligned} \quad (2.29)$$

(сводится к решению задачи линейного математического программирования [11]);

4) решение задачи построения на основании (2.21) – (2.27) следующих множеств:

$$\begin{aligned} \tilde{X}_\gamma^{(e)}(t) &= X^{(+)}(t) = X^{(+)}(\tau, \tilde{X}^{(e)}(\tau), t) \cap X^{(-)}(t+1, \tilde{X}^{(e)}(t+1), t), t \in \{T-1, T-1, \dots, 2, 1\}, \\ \tilde{X}_F^{(e)}(0) &= X(0) = \{x_0\}. \end{aligned} \quad (2.30)$$

Отметим, что решение данной задачи сводится к реализации конечной рекуррентной последовательности решений задач линейного математического программирования и одношаговых операций [11, 13, 14];

5) решения на промежутке  $\overline{\tau, T}$  двухточечных краевых задач для дискретной динамической системы (2.11) – (2.13) при краевых условиях  $x(\tau) = \tilde{x}^{(e)}(\tau)$  и  $x(T) = \tilde{x}^{(e)}(T) \in \tilde{X}_\gamma^{(e)}(T)$  с целью нахождения множества:

$$\tilde{U}^{(e)}(\tau, T, \{\tilde{x}^{(e)}(\tau)\}, \tilde{X}_\gamma^{(e)}(T)) = \{\tilde{u}^{(e)}(\cdot) : \tilde{u}^{(e)}(\cdot) \in U(\tau, T),$$

$$\forall t \in \overline{\tau, T-1} : \tilde{x}^{(e)}(t+1) = A(t)\tilde{x}^{(e)}(t) + B(t)\tilde{u}^{(e)}(t) \in \tilde{X}_\gamma^{(e)}(t+1), \tilde{x}^{(e)}(0) = x_0\} \quad (2.31)$$

программных управлений игрока  $P$  на этом промежутке времени (решается с помощью сочетания обратной и прямой рекуррентных конструкций).

Здесь функционал  $\Phi_{\tau, T}$  определен соотношением (2.16).

Из предыдущих определений, построений (2.21) – (2.31), лемм 2.1 – 2.4 и теоремы 2.1 следует справедливость следующей теоремы – необходимого и достаточного условия для решения многошаговой задачи 2.2.

**Теорема 2.2.** Для фиксированных промежутка времени  $\overline{\tau, T} \subseteq \overline{0, T}$  ( $\tau < T$ ), начальной позиции  $w_0 \in \hat{W}_0$  игрока  $P$  в динамической системе (2.11) – (2.13), (2.16) и реализации на этом промежутке его допустимого программного управления  $u_*^{(e)}(\cdot) \in U(\overline{0, \tau})$ , порождающего фазовый вектор  $\tilde{x}^{(e)}(\tau) = \bar{x}(\tau; \overline{0, \tau}, x_0, u_*^{(e)}(\cdot)) \in X^*(\tau)$  ( $\tilde{x}^{(e)}(0) = x_0 \in X^*(\tau)$ ) объекта  $I$ , который определяет  $\tau$ -позицию  $w^{(e)}(\tau) = \tilde{w}^{(e)}(\tau) = \{\tau, \tilde{x}^{(e)}(\tau)\} \in \hat{W}(\tau)$  игрока  $P$ , формируемую согласно реализации рекуррентной процедуры

(2.28), и множества  $\tilde{X}_\gamma^{(e)}(T) \in 2^{\mathbf{R}^n}$ , которое определяется в силу соотношения (2.29) и является непустым, конечным или выпуклым, замкнутым и ограниченным многогранником в пространстве  $\mathbf{R}^n$ , определяющим множество всех оптимальных финальных фазовых состояний объекта  $I$ , пусть множество  $\tilde{U}^{(e)}(\tau, \overline{T}, \{\tilde{x}^{(e)}(\tau)\}, \tilde{X}_\gamma^{(e)}(T)) \subseteq U(\tau, T)$  формируется на основании (2.30), (2.31). Тогда множество  $\tilde{U}^{(e)}(\tau, \overline{T}, \{\tilde{x}^{(e)}(\tau)\}, \tilde{X}_\gamma^{(e)}(T))$  определяет на промежутке времени  $\tau, \overline{T}$  решение двухточечных краевых задач для дискретной динамической системы (2.11) – (2.13) при краевых условиях  $x(\tau) = \tilde{x}^{(e)}(\tau)$  и  $x(T) = \tilde{x}^{(e)}(T) \in \tilde{X}_\gamma^{(e)}(T)$  и каждое программное управление  $\tilde{u}^{(e)}(\cdot) \in \tilde{U}^{(e)}(\tau, \overline{T}, \{x(\tau)\}, \tilde{X}_\gamma^{(e)}(T))$  игрока  $P$  является оптимальным для задачи 2.2, то есть существует и удовлетворяет включению

$$\tilde{u}^{(e)}(\cdot) \in U_\gamma^{(e)}(\tau, \overline{T}, w^{(e)}(\tau)) \neq \emptyset \quad (w^{(e)}(\tau) = \{\tau, x^{(e)}(\tau)\}, x^{(e)}(\tau) = \bar{x}(\tau; \overline{0}, \tau, x_0, u_*^{(e)}(\cdot))),$$

тогда и только тогда, когда оно удовлетворяет включению

$$\tilde{u}^{(e)}(\cdot) \in \tilde{U}^{(e)}(\tau, \overline{T}, \{\tilde{x}^{(e)}(\tau)\}, \tilde{X}_\gamma^{(e)}(T)),$$

и, следовательно, выполняется равенство

$$\tilde{U}^{(e)}(\tau, \overline{T}, \{\tilde{x}^{(e)}(\tau)\}, \tilde{X}_\gamma^{(e)}(T)) = U_\gamma^{(e)}(\tau, \overline{T}, w^{(e)}(\tau)), \quad (2.32)$$

а числовое значение

$$\tilde{\Phi}_{\tau, \overline{T}}^{(e)} = \Phi_{\tau, \overline{T}}^{(e)}(\tilde{w}^{(e)}(\tau), \tilde{u}^{(e)}(\cdot)) = \tilde{c}_\gamma^{(e)}(\tau, \overline{T}, \tilde{w}^{(e)}(\tau)) = \gamma(\tilde{x}^{(e)}(T)),$$

которое вычисляется согласно (2.29), есть оптимальное значение результата терминального программного управления, то есть справедливо равенство:

$$\Phi_{\tau, \overline{T}}^{(e)} = \tilde{\Phi}_{\tau, \overline{T}}^{(e)} = \tilde{c}_\gamma^{(e)}(\tau, \overline{T}, \tilde{w}^{(e)}(\tau)) = c_\gamma^{(e)}(\tau, \overline{T}, w^{(e)}(\tau)). \quad (2.33)$$

При этом решение задачи 2.2, то есть решение задачи формирования множества  $\tilde{U}^{(e)}(\tau, \overline{T}, \{\tilde{x}^{(e)}(\tau)\}, \tilde{X}_\gamma^{(e)}(T)) = U_\gamma^{(e)}(\tau, \overline{T}, w(\tau))$  – оптимальных терминальных программных управлений игрока  $P$  на заданном промежутке времени  $\tau, \overline{T}$ , и вычисления числового значения  $\Phi_{\tau, \overline{T}}^{(e)} = \tilde{\Phi}_{\tau, \overline{T}}^{(e)} = \tilde{c}_\gamma^{(e)}(\tau, \overline{T}, \tilde{w}^{(e)}(\tau)) = c_\gamma^{(e)}(\tau, \overline{T}, w^{(e)}(\tau))$  – значения оптимального результата для этой задачи, находится конструктивно – путем реализации конечной рекуррентной последовательности решений задач линейного

математического программирования и одношаговых операций, то есть с помощью только одношаговых операций [11, 13, 14].

В итоге можно сделать вывод, что решение многошаговой задачи 2.2 – оптимального терминального программного управления для дискретной динамической системы (2.11) – (2.13), (2.16) сводится к реализации решения подзадач 1) – 5). При этом на основании теоремы 2.2, реализация их решения представляет собой *конечную рекуррентную последовательность решений задач линейного математического программирования и одношаговых операций*, то есть с помощью только одношаговых операций.

Приведем общую схему решения задачи 2.3 оптимального терминального адаптивного управления в дискретной динамической системе (2.11) – (2.13), (2.16).

Используя решение задачи 2.2 для всех моментов времени  $\tau \in \overline{0, T-1}$  и всех  $\tau$ -позиций  $w^{(e)}(\tau) = \{\tau, x^{(e)}(\tau)\} \in \hat{W}(\tau)$  ( $w^{(e)}(0) = w_0$ ) игрока  $P$ , где  $x^{(e)}(\tau) = \bar{x}(\tau; 0, T, x_0, u^{(e)}(\cdot))$ ,  $u^{(e)}(\cdot) \in U^{(e)}(0, T, \{x_0\}, X_{\hat{\gamma}}^{(e)}(T))$ , согласно теореме 2.2 и соотношениям (2.30) – (2.31), можно сконструировать следующие множества:

$$\begin{aligned} \tilde{U}_*^{(e)}(w^{(e)}(\tau)) &= \{\tilde{u}^{(e)}(\tau) : \tilde{u}^{(e)}(\tau) \in U(\tau), \tilde{u}^{(e)}(\tau) = u^{(e)}(\tau), \\ u^{(e)}(\cdot) &\in U^{(e)}(\tau, T, \{x^{(e)}(\tau)\}, X_{\hat{\gamma}}^{(e)}(T))\}, \tau \in \overline{0, T-1}. \end{aligned} \quad (2.34)$$

Тогда определим стратегию управления  $\tilde{U}_a^{(e)} = \tilde{U}_a^{(e)}(w(\tau)) \in U_a^*$  ( $\tau \in \overline{0, T-1}$ ,  $w(\tau) \in \hat{W}(\tau)$ ,  $w(0) = w_0$ ), игрока  $P$  для процесса терминального адаптивного управления в дискретной динамической системе (2.11) – (2.13), (2.16) на промежутке времени  $\overline{0, T}$  из класса допустимых стратегий терминального адаптивного управления  $U_a^*$ , которая формально описывается следующими соотношениями:

1) для всех  $\tau \in \overline{0, T-1}$  и  $\tau$ -позиций  $w^{(e)}(\tau) = \{\tau, x^{(e)}(\tau)\} \in W(0, w_0, \tau, u_{\tau}^{(e)}(\cdot))$  ( $w^{(e)}(0) = w_0$ ) пусть

$$\tilde{U}_a^{(e)}(w^{(e)}(\tau)) = \tilde{U}_*^{(e)}(w^{(e)}(\tau)) \subseteq U^*(\tau); \quad (2.35)$$

2) для всех  $\tau \in \overline{0, T-1}$  и  $\tau$ -позиций  $w^*(\tau) = \{\tau, x^*(\tau)\} \in \{\hat{W}(\tau) \setminus W(0, w_0, \tau, u_{\tau}^{(e)}(\cdot))\}$  ( $w^*(0) \neq w_0$ ) пусть

$$\tilde{U}_a^{(e)}(w^{(e)}(\tau)) = U^*(\tau), \quad (2.36)$$

где  $u_\tau^{(e)}(\cdot) = \{u^{(e)}(t)\}_{t \in \overline{0, \tau-1}}$ ,  $u^{(e)}(\cdot) \in U^{(e)}(\overline{0, T}, \{x_0\}, X_\gamma^{(e)}(T))$ .

Пусть  $\tilde{u}^{(e)}(\cdot) = \{\tilde{u}^{(e)}(t)\}_{t \in \overline{0, T-1}} \in U(\overline{0, T})$  есть реализация управления игрока  $P$  на промежутке времени  $\overline{0, T}$ , которая сформирована в результате использования стратегии  $\tilde{U}_a^{(e)} \in U_a^*$  на этом промежутке времени, и такова, что  $\tilde{u}^{(e)}(T-1)$  удовлетворяет соотношению (2.17) при  $\tau = T-1$ . Тогда можно вычислить следующее число:

$$\tilde{c}_{a,\gamma}^{(e)}(\overline{0, T}, w_0) = \Phi_{0,T}(w_0, \tilde{u}^{(e)}(\cdot)). \quad (2.37)$$

Из теоремы 2.2 и соотношений (2.17), (2.32) – (2.37) получим следующее утверждение, которое является одним из основных результатов данного раздела.

**Теорема 2.3.** Для начальной позиции  $w(0) = w_0 = \{0, x_0\} \in \hat{W}_0$  игрока  $P$  в многошаговой дискретной динамической системе (2.11) – (2.13), (2.16) его стратегия адаптивного управления  $\tilde{U}_a^{(e)} \in U_a^*$  на промежутке времени  $\overline{0, T}$ , которая определяется соотношениями (2.34) – (2.36), является стратегией оптимального терминального адаптивного управления для задачи 2.3, то есть  $\tilde{U}_a^{(e)} = U_a^{(e)} \in U_a^*$ , и число  $\tilde{c}_{a,\gamma}^{(e)}(\overline{0, T}, w_0)$  есть значение оптимального результата для этой задачи, который соответствует реализации оптимальной адаптивной стратегии на промежутке времени  $\overline{0, T}$  для рассматриваемого процесса управления, то есть  $\tilde{c}_{a,\gamma}^{(e)}(\overline{0, T}, w_0) = c_{a,\gamma}^{(e)}(\overline{0, T}, w_0)$ , причем оба эти элемента конструируются путем реализации конечной рекуррентной последовательности решений задач линейного математического программирования и одношаговых операций, то есть с помощью только одношаговых операций.

Таким образом, для организации оптимального терминального адаптивного управления, то есть решения задачи 2.3 в выбранном классе допустимых стратегий терминального адаптивного управления предлагается рекуррентный алгоритм, который сводит исходную многошаговую задачу к реализации конечной рекуррентной последовательности задач

2.2 – оптимального терминального программного управления. При этом решение каждой из задач 2.2 сводится к реализации конечной рекуррентной последовательности решений задач линейного математического программирования и одношаговых операций, то есть с помощью только одношаговых операций. Действие этого алгоритма реализовано в виде программного комплекса для персонального компьютера на языке программирования Delphi и его описание приведено в работе [29, 30].

Отметим, что размерность рассматриваемой дискретной динамической системы вида (2.11) – (2.13), (2.16) и число шагов процесса управления для предлагаемого алгоритма ограничиваются только ресурсами памяти и быстродействия компьютера.

### **Минимаксная задача прогнозирования состояния параметров социально-экономической динамической системы**

Описание общей схемы решения динамической задачи *прогнозирования параметров региональной социально-экономической системы*, динамика которой описывается дискретной динамической системой (2.11) – (2.13), на основе минимаксного подхода можно представить следующим образом.

На заданном целочисленном промежутке времени (промежутке прогнозирования)  $\overline{0, T}$  ( $T \in \mathbf{N}$ ), описывающем, например, период времени в  $T$  лет, рассматривается региональная социально-экономическая система, динамика которой описывается линейным дискретным рекуррентным векторным уравнением вида (2.11) при наличии ограничений (2.12) и (2.13) соответственно на вектор управляющего воздействия и фазовый вектор системы.

Тогда общая схема решения *минимаксной задачи прогнозирования состояния параметров социально-экономической системы* на заданный момент времени  $T$  состоит из решения нижеследующих трех основных задач.

#### **1. Алгоритм решения задачи апостериорной идентификации экономико-математической модели динамики социально-экономической системы.**

Сформулируем следующую задачу *апостериорной идентификации параметров* линейной управляемой динамической системы (2.11) – (2.13), описывающей динамику реализации рассматриваемого регионального социально-экономического процесса.

**Задача 2.4.** Для заданных промежутка времени  $\overline{0, T}$ , целочисленных моментов времени  $s \in \mathbf{N}$  и  $t \in \overline{0, T-1}$ , предыстории значений векторов  $x^*(\cdot) = \{x^*(\tau)\}_{\tau \in \overline{-s, t}}$  и  $u^*(\cdot) = \{u^*(\tau)\}_{\tau \in \overline{-s, t-1}}$ , соответственно фазового вектора и вектора управляющего воздействия рассматриваемой дискретной динамической системы (2.11) – (2.13) за предыдущие  $(t+s)$  периодов времени, требуется для момента времени  $t \in \overline{0, T-1}$  сформировать действительные невырожденные матрицы  $A(t)$  и  $B(t)$  порядков  $(n \times n)$  и  $(n \times p)$  соответственно, определяющие уравнение динамики системы (2.11) в момент времени  $t$  рассматриваемого промежутка  $\overline{0, T}$ , то есть решить задачу апостериорной идентификации уравнения динамики системы и представить решение этой задачи в виде конечного числа операций, допускающих их компьютерную реализацию.

Для решения задачи 2.4 апостериорной идентификации динамики рассматриваемой системы (2.11) – (2.13) предлагается использовать *комбинированный итерационный метод*, описанный в работе [32, 33], сочетающий процедуры решения многомерных систем алгебраических уравнений, формирования уравнений линейной регрессии и использования среднеквадратичной интерполяции исходных данных, который можно описать следующим образом.

Пусть для любого момента времени  $t \in \overline{0, T-1}$  матрицы  $A(t)$  и  $B(t)$  порядков  $(n \times n)$ , и  $(n \times p)$  соответственно имеют следующий вид:  $A(t) = \|a_{ij}(t)\|_{\substack{i \in \overline{1, n} \\ j \in \overline{1, n}}}$ ;  $B(t) = \|b_{ij}(t)\|_{\substack{i \in \overline{1, n} \\ j \in \overline{1, p}}}$ , и элементы этих матриц являются неизвестными параметрами рассматриваемой задачи апостериорной идентификации.

Решение задачи 2.4 рассматривается при выполнении следующего условия.

**Условие 2.1.** Предполагается, что на целочисленном промежутке  $-s, t$  элементы матриц  $A(t)$  и  $B(t)$  являются стационарными, то есть для любых моментов времени  $\tau, \vartheta \in \overline{-s, t}$ ,  $\tau \neq \vartheta$ , и для всех целочисленных индексов  $i, j \in \overline{1, n}$ , выполняется равенство:  $a_{ij}(\tau) = a_{ij}(\vartheta)$ , и для любых моментов времени  $\tau, \vartheta \in \overline{-s, t-1}$ ,  $\tau \neq \vartheta$ , и для всех целочисленных индексов  $i \in \overline{1, n}$ ,  $j \in \overline{1, p}$ , выполняются равенства  $b_{ij}(\tau) = b_{ij}(\vartheta)$ .







в (2.41) (здесь  $j$  есть номер координаты вектора  $u(\tau)$ , для которой отсутствуют необходимые данные;  $\zeta_j > 0$  – погрешность регрессии) находятся, например, с использованием *метода наименьших квадратов*. Таким образом, недостающие данные для решения системы (2.40) вычисляются из сформированных уравнений линейной регрессии (2.41).

В случае если имеющиеся статистические данные о предыстории фазового вектора  $x$  и управляющего воздействия таковы, что система линейных алгебраических уравнений вида (2.40) имеет бесконечное множество решений, то дискретных динамических моделей вида (2.11) – (2.13), соответствующих имеющимся данным, возможно бесконечно много. В этом случае формируется зависимость базисных неизвестных величин системы алгебраических уравнений вида (2.40) от ее свободных неизвестных. Тогда, подставляя произвольные значения свободных неизвестных переменных, будем получать различные модели (2.11) – (2.13), из которых на основании введения дополнительного критерия качества рассматриваемой динамической системы можно сформировать конкретную динамическую модель, пригодную для решения рассматриваемых задач оптимального управления региональной социально-экономической системой.

Отметим также, что на основе этих данных и другой информации (например, новых возможностей для расширения ресурсов управляющего субъекта) уточняются и ограничения (2.12) и (2.13) соответственно на фазовый вектор и вектор управляющего воздействия рассматриваемой динамической системы.

## 2. Задача построения области достижимости (прогнозного множества) системы.

Зафиксируем промежуток времени  $\overline{\tau, T} \subseteq \overline{0, T}$  ( $\tau < T$ ). Тогда для любой фиксированной  $\tau$ -позиции  $w(\tau) = \{\tau, x(\tau)\} \in \hat{W}(\tau)$  ( $w(0) = \{0, x(0)\} = w_0 \in \hat{W}_0$ ) игрока  $P$  в дискретной динамической системе (2.11) – (2.13) пусть  $X^{(+)}(\tau, \{x(\tau)\}, T) \in \mathbf{R}^n$  есть ее область достижимости (прогнозное множество), которая определяется согласно (2.21) и, как показано ранее, является выпуклым, замкнутым и ограниченным многогранником (с конечным числом вершин) в пространстве  $\mathbf{R}^n$ .

Требуется построить множество  $X^{(+)}(\tau, \{x(\tau)\}, T)$  путем его описания, например с помощью множества всех его вершин в пространстве  $\mathbf{R}^n$ , и представить решение этой задачи в виде конечного числа операций, допускающих их компьютерную реализацию.

Для решения задачи построения прогнозного множества системы (2.11) – (2.13) предлагается использовать *общий рекуррентный алгебраический метод* [11], представляющий из себя следующую *реализацию конечной последовательности рекуррентных процедур решения вспомогательных задач линейного математического программирования и одношаговых операций*.

Предположим, что множество  $X(t-1) = X^{(+)}(\tau, \{x(\tau)\}, t-1)$  ( $\tau < t < T$ ) уже построено и в силу свойств прямой области достижимости является выпуклым, замкнутым и ограниченным многогранником (с конечным числом вершин) в пространстве  $\mathbf{R}^n$  [11].

Тогда с учетом введенных выше определений и сформулированных утверждений лемм 2.2 – 2.4 и теоремы 2.1 общую схему алгоритма решения задачи построения прогнозного множества  $X(t) = X^{(+)}(t-1, X(t-1), t)$  для динамической системы (2.11) – (2.13) можно представить в форме выполнения нижеследующей рекуррентной последовательности действий.

1. Для  $t \in \overline{1, T}$  по известным матрицам  $A(t-1)$  и  $B(t-1)$ , множествам  $\Gamma_n(X(t-1)) = \{x_*^{(i)}\}_{i \in \overline{1, m_n}}$  и  $\Gamma_p(U^*(t-1)) = \{u_*^{(j)}\}_{j \in \overline{1, m_p}}$ , где  $m_n, m_p \in \mathbf{N}$  есть число всех вершин многогранников  $X(t-1)$  и  $U^*(t-1)$  соответственно, формируются следующие множества:

$$\hat{X}_n^{(+)}(t) = \{\hat{x}(t) : \hat{x}(t) \in \mathbf{R}^n, \hat{x}(t) = A(t-1)x(t-1) \in X^*(t), x(t-1) \in \Gamma_n(X(t-1))\};$$

$$\hat{H}_n^{(+)}(t) = \{\hat{h}(t) : \hat{h}(t) \in \mathbf{R}^n, \hat{h}(t) = B(t-1)u(t-1), u(t-1) \in \Gamma_p(U^*(t-1))\};$$

$$\tilde{X}^{(+)}(t) = \{\tilde{x}(t) : \tilde{x}(t) \in \mathbf{R}^n, \tilde{x}(t) = \hat{x}(t) + \hat{h}(t), \hat{x}(t) \in \hat{X}_n^{(+)}(t), \hat{h}(t) \in \hat{H}_n^{(+)}(t)\}.$$

Тогда в силу теоремы 2.1 справедливо равенство:

$$X^{(+)}(t) = X^{(+)}(t-1, X(t-1), t) = \text{co}_n \tilde{X}^{(+)}(t).$$

2. Пусть  $\tilde{X}^{(+)}(t) = \{\tilde{x}^{(i)}(t)\}_{i \in \overline{1, k_t}}$  и для  $i \neq j$ :  $\tilde{x}^{(i)}(t) \neq \tilde{x}^{(j)}(t)$ , где  $k_t \in \mathbf{N}$  есть число всех элементов множества  $\tilde{X}^{(+)}(t) X(t-1)$ , и рассматривается следующая задача.

**Задача 2.5.** Для фиксированного  $i \in \overline{1, k_i}$  и набора переменных  $\lambda_j \in \mathbf{R}^1$ ,  $j \in \overline{1, k_i}$ ,  $j \neq i$  требуется определить совместимость следующей системы линейных соотношений:

$$\begin{cases} \sum_j \lambda_j \tilde{x}^{(j)}(t) = \tilde{x}^{(i)}(t), \\ \sum_j \lambda_j = 1, \quad \lambda_j \geq 0. \end{cases} \quad (2.42)$$

Решение этой задачи находится с помощью модифицированного симплекс-метода (см., например, [38, 43, 46]), который применяется для задачи линейного программирования с ограничениями (2.42) и поиска минимума целевой функции  $g: \mathbf{R}^{k_i-1} \rightarrow \mathbf{R}^1$  достаточно произвольного вида, например, следующего:

$$g(\lambda) = \sum_j \lambda_j,$$

где  $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{k_i})$ ,  $j \in \overline{1, k_i}$ ,  $j \neq i$ .

Отметим, что такой выбор целевой функции значительно упрощает процесс проверки условий совместности ограничений (2.42) на первом этапе реализации модифицированного симплекс-метода. При этом из свойств системы (2.42) следует, что если она совместна, то точка  $\tilde{x}^{(i)}(t)$  не является вершиной многогранника  $\text{co}_n \tilde{X}^{(+)}(t)$ , в противном случае имеем  $\tilde{x}^{(i)}(t) \in \Gamma_n(\text{co}_n \tilde{X}^{(+)}(t))$ .

Тогда, решив задачу 2.5 для всех значений параметра  $i \in \overline{1, k_i}$ , найдем все вершины многогранника  $X^{(+)}(t) = X^{(+)}(t-1, X(t-1), t) X^{(+)}(t)$ , так как в силу теоремы 2.1 имеет место равенство:  $\Gamma_n(\text{co}_n X^{(+)}(t)) = \Gamma_n(\text{co}_n \tilde{X}^{(+)}(t))$ .

Применяя описанную выше рекуррентную схему построения многогранных множеств  $X^{(+)}(t) = X^{(+)}(t-1, X(t-1), t)$  для всех моментов времени  $t \in \tau+1, T$ , в итоге, на основании теоремы 2.1, будет построена область достижимости  $X^{(+)}(T) = X^{(+)}(T-1, X(T-1), T) = X^{(+)}(\tau, \{x(\tau)\}, T)$  – прогнозное множество всех возможных состояний фазового вектора  $x(T)$  динамической системы (2.11) – (2.13) в финальный момент времени  $T$ , имеющее вид выпуклого замкнутого и ограниченного многогранника

(с конечным числом вершин) в пространстве  $\mathbf{R}^n$ , путем описания всех его вершин.

### 3. Задача минимаксного оценивания прогнозного множества системы.

Рассмотрим решение следующей задачи минимаксного оценивания прогнозного множества.

**Задача 2.6.** Пусть для построенного прогнозного множества  $X^{(+)}(\tau, \{x(\tau)\}, T)$ , дискретной динамической системы (2.11) – (2.13), которое, как уже отмечалось выше, является выпуклым замкнутым и ограниченным многогранником, с конечным числом вершин, например равным числу  $m \in \mathbf{N}$  пространства  $\mathbf{R}^n$ , известно дискретное множество  $\Gamma_n(X^{(+)}(T)) = \{x^{(i)}(T)\}_{i \in \overline{1, m}}$  всех его вершин. Требуется найти для этого множества *чебышевский центр* (вектор минимаксной оценки множества  $X^{(+)}(T)$ ) и *величину чебышевского радиуса* (наименьшую величину радиуса шара в пространств  $\mathbf{R}^n$ , покрывающего множество  $X^{(+)}(T)$ ) в виде реализации конечного числа операций, допускающих их компьютерную реализацию.

Решение задачи 2.6 минимаксного оценивания прогнозного множества может быть найдено, например, с помощью следующей обобщенной авторской методики [11]:

1) на основе множества  $\Gamma_n(X^{(+)}(T)) = \{x^{(i)}(T)\}_{i \in \overline{1, m}}$  всех вершин многогранника  $X^{(+)}(T)$  формируются функционалы

$$\mu_i : \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}^1, \quad i \in \overline{1, m},$$

значения которых для  $x(T) = (x_1(T), x_2(T), \dots, x_n(T))' \in \mathbf{R}^n$  определяются по следующим формулам:

$$\mu_i(x(T)) = \|x(T) - x^{(i)}(T)\|_n, \quad i \in \overline{1, m},$$

где  $\|\cdot\|_n$  есть символ евклидовой нормы в  $\mathbf{R}^n$ ;

2) вводится дополнительная действительная переменная  $x_{n+1}(T)$  и формируется система выпуклых неравенств

$$\mu_i(x(T)) \leq x_{n+1}(T), \quad i \in \overline{1, m},$$

то есть система вида

$$X_{|n+1}(T) : \left( \sum_{j=1}^n (x_j(T) - x_j^{(i)}(T))^2 \right)^{1/2} - x_{n+1}(T) \leq 0, \quad i \in \overline{1, m},$$

описывающая множество  $X_{|n+1}(T)$ ;

3) формируется следующая задача выпуклого математического программирования

$$\begin{aligned} x_{n+1}(T) &\rightarrow \min, \\ \mu_i(x(T)) - x_{n+1}(T) &\leq 0, \quad i \in \overline{1, m}. \end{aligned} \quad (2.43)$$

Для решения задачи (2.43) можно использовать, например, итерационный градиентный алгоритм метода Зойтендейка (случай нелинейных ограничений-неравенств) (см, например, [3, 46]). Тогда для части координат сформированного значения вектора  $x_{|n+1}^{(e)}(T) = (x_1^{(e)}(T), x_2^{(e)}(T), \dots, x_n^{(e)}(T), x_{n+1}^{(e)}(T))' \in X_{|n+1}(T)$  (где  $x_{n+1}^{(e)}(T)$  есть оптимальное значение функционала для задачи (2.43) выпуклого математического программирования) будет выполняться (с заданной точностью) следующее минимаксное соотношение:

$$\min_{x(T) \in X^{(+)}(T)} \max_{i \in \overline{1, m}} \mu_i(x(T)) = \max_{i \in \overline{1, m}} \mu_i(x^{(e)}(T)) = r^{(e)}(X^{(+)}(T)),$$

то есть вектор  $x^{(e)}(T) = (x_1^{(e)}(T), x_2^{(e)}(T), \dots, x_n^{(e)}(T))' \in X^{(+)}(T)$  является чебышевским центром множества  $X^{(+)}(T)$  – его минимаксной оценкой (оптимальной гарантированной оценкой), а число  $x_{n+1}^{(e)}(T) = r^{(e)}(X^{(+)}(T)) \in \mathbf{R}^1$  есть значение величины его чебышевского радиуса, то есть значение наименьшей величины радиуса шара в пространстве  $\mathbf{R}^n$ , покрывающего множество  $X^{(+)}(T)$ .

Применение описанной выше авторской методики позволяет представить решение задачи минимаксного оценивания прогнозного множества в виде реализации конечного числа процедур решения задач линейного и выпуклого математического программирования и конечной дискретной оптимизации, допускающих их компьютерную реализацию.

Отметим, что описанные в данном разделе авторские методы решения динамических задач оптимального программного и адаптивного управле-

ния, прогнозирования, минимаксного оценивания, а также идентификации параметров в рамках векторных линейных дискретных рекуррентных моделей, служат основой для решения ряда задач минимаксной (гарантированной) оптимизации управления региональными социально-экономическими системами, включающих в себя системы здравоохранения, образования, инновационной деятельности и др., функционирующими в условиях информационной неопределенности и внешних возмущений, которые образуют подзадачи двухуровневого иерархического минимаксного управления дискретными динамическими системами. Этим задачам посвящен параграф 3 данной главы.

### **§3. Оптимизация гарантированного результата управления в многоуровневых детерминированных динамических моделях социально-экономических систем в условиях динамичной внешней и внутренней среды**

В этом параграфе рассматривается дискретная динамическая система, состоящая из набора управляемых объектов (региона и образующих его муниципалитетов), динамика каждого из которых описывается соответствующим векторным линейным дискретным рекуррентным соотношением при наличии управляемых параметров и возмущений (рисков), которая является конкретизацией общей нелинейной динамической системы (2.1) – (2.6), сформированной в параграфе 2 данной главы. В системе выделены два уровня принятия управленческих решений – доминирующий (региональный или первый уровень) и подчиненный (муниципальный или второй уровень), имеющие различные критерии функционирования и объединенные между собой априори определенными информационными и управленческими связями. Рассматривается задача *оптимизации управления региональными социально-экономическими системами, включающих в себя системы здравоохранения, образования, инновационной деятельности и др.*, при наличии информационной неопределенности и рисков. Для исследуемой задачи в данном разделе предлагается экономико-математическая модель в форме решения задачи двухуровневого иерархического минимаксного программного управления региональными социально-экономическими системами, включающих в себя системы здравоохранения, образования, инновационной деятельности и др., при наличии информационной неопределенности и рисков, и общая схема ее



решения. Описываемые результаты базируются на исследованиях [1, 2, 10, 11, 15, 17–25].

Математическое моделирование сложных экономических, технических и других динамических процессов, функционирующих в условиях информационной неопределенности и рисков, приводит к ситуации, когда явно присутствуют несколько уровней принятия управленческих решений при наличии конкретных условий информированности и иерархической подчиненности для управляющих субъектов. Математические модели таких процессов являются многоуровневыми иерархическими динамическими системами с неполной информацией [2–6, 11], и их исследование представляет самостоятельный интерес в рамках математической теории процессов управления и экономико-математического моделирования. Вопросы, связанные с изучением таких процессов, исследуются, например, в работах [1–4, 10, 15, 17–25] и др.

**Формирование двухуровневой детерминированной динамической модели региональной социально-экономической системы в условиях динамичной внешней и внутренней среды**

В данном пункте этого раздела рассматривается дискретная динамическая социально-экономическая система, включающая в себя системы здравоохранения, образования, инновационной деятельности и др., состоящая из набора управляемых объектов (региона и образующих его муниципалитетов), динамика каждого из которых описывается соответствующим векторным линейным дискретным рекуррентным соотношением при наличии управляемых параметров и возмущений (векторов рисков). В данной системе выделены два уровня принятия управленческих решений – доминирующий (региональный) уровень  $I$ , управляемый доминирующим игроком  $P$  (субъектом управления регионом), и подчиненный (муниципальный) уровень  $II$ , управляемый игроком  $E$  (субъектом управления муниципалитетами). В сфере интересов доминирующего игрока  $P$  находятся финальные (терминальные) значения фазовых состояний всех рассматриваемых объектов: объекта  $I$  – основного (региона в целом) и объектов  $II_i$ ,  $i \in \overline{1, n}$ , –  $n$  вспомогательных объектов (муниципалитетов, входящих в состав региона) и определенных для них нескольких критериев качества, а в сфере интересов подчиненного игрока  $E$  находятся значения только финальных фазовых состояний вспомогательных объектов

$\Pi_i$ ,  $i \in \overline{1, n}$ , и соответствующего критерия качества ( $n \in \mathbb{N}$ ). Оба уровня управления объединены между собой априори определенными информационными и управляющими связями, и для каждого игрока описываются конкретные условия информационного обеспечения в рассматриваемом процессе управления. Предполагается также, что выбор управляющего воздействия на уровне управления  $\Pi$  подчиненным игроком  $E$ , зависит от выбора управляющего воздействия на уровне управления  $I$  доминирующим игроком  $P$ . Качество управления рассматриваемыми динамическими объектами на каждом уровне управления оценивается соответствующими им выпуклыми функционалами, которые определены на их терминальных (финальных) фазовых состояниях и удовлетворяют соответствующим условиям Липшица [45]. Предполагается, что фазовые состояния всех объектов, управляющие воздействия и априори неопределенные параметры рассматриваемой динамической системы в каждый момент времени стеснены заданными конечными множествами в соответствующих конечномерных векторных пространствах или совместными системами линейных алгебраических уравнений.

Для исследуемой динамической системы в данном пункте предлагается экономико-математическая формализация в форме решения многошаговой задачи двухуровневого иерархического минимаксного (оптимизации гарантированного результата) программного управления региональными социально-экономическими системами, включающих в себя системы здравоохранения, образования, инновационной деятельности и др., и предложена общая схема ее решения.

*Важной особенностью предлагаемой методики минимаксного управления региональными социально-экономическими системами, включающих в себя системы здравоохранения, образования, инновационной деятельности и др., функционирующих в условиях информационной неопределенности и рисков, является то, что ее реализация позволяет сочетать интересы как региона в целом, так и образующих его муниципалитетов.*

Полученные в работе результаты основываются на исследованиях [1, 2, 10, 11, 15, 17–25] и могут быть использованы при компьютерном моделировании и создании многоуровневых систем управления для сложных динамических региональных социально-экономических систем, включающих в себя системы здравоохранения, образования, инновацион-

ной деятельности и др., функционирующих в условиях информационной неопределенности и рисков. Математические модели таких систем представлены, например, в работах [1–26].

На заданном целочисленном промежутке времени  $\overline{0, T}$  ( $T \in \mathbf{N}$ ) рассматривается многошаговая динамическая система, которая состоит из  $(n+1)$ -го управляемого объекта ( $n \in \mathbf{N}$ ). Динамика объекта  $I$  (основного объекта системы – региона), управляемого доминирующим игроком  $P$  описывается векторным линейным дискретным рекуррентным уравнением вида

$$y(t+1) = A(t)y(t) + B(t)u(t) + C(t)v(t) + D(t)w(t), \quad y(0) = y_0, \quad (2.44)$$

динамика объекта  $\Pi_i$  ( $i$ -го вспомогательного объекта системы –  $i$ -го муниципалитета), управляемого подчиненным игроком  $E_i$  ( $i \in \overline{1, n}$ ), описывается следующим уравнением

$$z^{(i)}(t+1) = A^{(i)}(t)z^{(i)}(t) + B^{(i)}(t)u(t) + C^{(i)}(t)v^{(i)}(t) + D^{(i)}(t)w^{(i)}(t), \quad z^{(i)}(0) = z_0^{(i)}, \quad (2.45)$$

где  $t \in \overline{0, T-1}$ ;  $y(t) = (y_1(t), y_2(t), \dots, y_r(t))' \in \mathbf{R}^r$  – вектор фазовых переменных или фазовый вектор объекта  $I$  – набор основных параметров, описывающих благосостояние региона в момент времени  $t$ ;  $z^{(i)}(t) = (z_1^{(i)}(t), z_2^{(i)}(t), \dots, z_{s_i}^{(i)}(t))' \in \mathbf{R}^{s_i}$  – вектор фазовых переменных или фазовый вектор объекта  $\Pi_i$  – набор основных параметров, описывающих благосостояние  $i$ -го муниципалитета ( $i \in \overline{1, n}$ ) в момент времени  $t$ ;  $u(t) = (u_1(t), u_2(t), \dots, u_p(t))' \in \mathbf{R}^p$  – вектор управляющего воздействия (управления) доминирующего игрока  $P$  в период времени  $t$  ( $t \in \overline{0, T-1}$ ), удовлетворяющий заданному ограничению:

$$u(t) \in U_1(t) \subset \mathbf{R}^p,$$

$$U_1(t) = \{u(t) : u(t) \in \{u^{(1)}(t), u^{(2)}(t), \dots, u^{(N_t)}(t)\} \subset \mathbf{R}^p\}, \quad (2.46)$$

где  $U_1(t)$ , для каждого  $t \in \overline{0, T-1}$ , есть конечное множество векторов, то есть конечный набор, состоящий из  $N_t$  ( $N_t \in \mathbf{N}$ ) векторов в  $\mathbf{R}^p$  ( $p \in \mathbf{N}$ );  $v^{(i)}(t) = (v_1^{(i)}(t), v_2^{(i)}(t), \dots, v_{q_i}^{(i)}(t))' \in \mathbf{R}^{q_i}$  – вектор управляющего воздействия (управления) подчиненного игрока  $E_i$  ( $i \in \overline{1, n}$ ) в пе-

риод времени  $t$  ( $t \in \overline{0, T-1}$ ), который зависит от допустимой реализации управления  $u^{(j)}(t) \in U_1(t)$  игрока  $P$  ( $j \in \overline{1, N_t}$ ) и должен удовлетворять следующему заданному ограничению:

$$v^{(i)}(t) \in V_1^{(i)}(u^{(j)}(t)) \subset \mathbf{R}^{q_i},$$

$$V_1^{(i)}(u^{(j)}(t)) = \{v^{(i)}(t) : v^{(i)}(t) \in \{v^{(i,1)}(t), v^{(i,2)}(t), \dots, v^{(Q_t^{(i)}(j))}(t)\} \subset \mathbf{R}^{q_i}\}, \quad (2.47)$$

где  $V_1^{(i)}(u^{(j)}(t))$  для каждого момента времени  $t \in \overline{0, T-1}$  и управления  $u^{(j)}(t) \in U_1(t)$  игрока  $P$  есть конечное множество векторов, то есть конечный набор, состоящий из  $Q_t^{(i)}(j)$  ( $Q_t^{(i)}(j) \in \mathbf{N}$ ,  $j \in \overline{1, N_t}$ ) векторов в  $\mathbf{R}^{q_i}$ ;  $v(t) = (v^{(1)}(t), v^{(2)}(t), \dots, v^{(n)}(t))' \in \mathbf{R}^{(n \times q)}$  – вектор управления обобщенного подчиненного игрока  $E$ , объединяющего всех подчиненных игроков  $E_i$ ,  $i \in \overline{1, n}$  ( $q = \sum_{i=1}^n q_i \in \mathbf{N}$ ).

Предполагается, что для всех  $t \in \overline{0, T-1}$ , каждая допустимая реализация фазового вектора  $x(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))' \in \mathbf{R}^r$  объекта  $I$  удовлетворяет следующему заданному фазовому ограничению:

$$y(t) = (y_1(t), y_2(t), \dots, y_n(t)) \in Y_1(t) \subset \mathbf{R}^r,$$

$$Y_1(t) = \{y(t) : y(t) \in \mathbf{R}^r, My(t) \leq b\} \neq \emptyset, \quad (2.48)$$

то есть множество  $Y_1(t)$  ограничивает допустимые значения реализации фазового вектора объекта  $I$  в момент времени  $t$ . В ограничении (2.48):  $M$  – действительная матрица порядка  $(r \times r)$ ;  $b \in \mathbf{R}^r$  – фиксированный вектор; здесь и далее в матричных неравенствах символы  $\leq, =, \geq$  означают соответствующее покоординатное сравнение векторов. Для всех  $t \in \overline{0, T-1}$ , каждая допустимая реализация фазового вектора  $z^{(i)}(t) = (z_1^{(i)}(t), z_2^{(i)}(t), \dots, z_{s_i}^{(i)}(t))' \in \mathbf{R}^{s_i}$  объекта  $\Pi_i$  ( $i \in \overline{1, n}$ ) удовлетворяет следующему заданному фазовому ограничению:

$$z^{(i)}(t) = (z_1^{(i)}(t), z_2^{(i)}(t), \dots, z_{s_i}^{(i)}(t)) \in Z_1^{(i)}(t) \subset \mathbf{R}^{s_i},$$

$$Z_1^{(i)}(t) = \{z^{(i)}(t) : z^{(i)}(t) \in \mathbf{R}^{s_i}, M^{(i)} z^{(i)}(t) \leq b^{(i)}\} \neq \emptyset, \quad (2.49)$$

то есть множество  $\mathbf{Z}_1^{(i)}(t)$  ограничивает допустимые значения реализации фазового вектора объекта  $\Pi_i$  в момент времени  $t$ . В ограничении (2.49):  $M^{(i)}$  – действительная матрица порядка  $(s_i \times s_i)$ ;  $b^{(i)} \in \mathbf{R}^{s_i}$  – фиксированный вектор.

В векторном рекуррентном уравнении (2.44), описывающем динамику объекта  $I$ ,  $w(t) = (w_1(t), w_2(t), \dots, w_m(t))' \in \mathbf{R}^m$  – вектор рисков (или помехи) для этого объекта, который в каждый период времени  $t$  ( $t \in \overline{0, T-1}$ ) зависит от допустимой реализации управления  $u^{(j)}(t) \in U_1(t)$  игрока  $P$  ( $j \in \overline{1, N_t}$ ) и удовлетворяет заданному ограничению:

$$w(t) \in W_1(u^{(j)}(t)) \subset \mathbf{R}^m, \\ W_1(u^{(j)}(t)) = \{w(t) : w(t) \in \mathbf{R}^m, Rx(t) + Lu^{(j)}(t) \leq c\} \neq \emptyset, \quad (2.50)$$

то есть множество  $W_1(u^{(j)}(t))$  ограничивает возможные значения реализации вектора рисков  $w(t)$  в момент времени  $t$ , влияющего на динамику объекта  $I$ . В ограничении (2.50):  $m \in \mathbf{N}$ ;  $R$  – действительная матрица порядка  $(r \times r)$ ;  $L$  – действительная матрица порядка  $(r \times p)$ ;  $c \in \mathbf{R}^r$  – фиксированный вектор. В векторном рекуррентном уравнении (2.45), описывающем динамику объекта  $\Pi_i$  ( $i \in \overline{1, n}$ ),  $w^{(i)}(t) = (w_1^{(i)}(t), w_2^{(i)}(t), \dots, w_{m_i}^{(i)}(t))' \in \mathbf{R}^{m_i}$  – вектор рисков (или помехи) для этого объекта, который в каждый период времени  $t$  ( $t \in \overline{0, T-1}$ ) также зависит от допустимой реализации управления  $u^{(j)}(t) \in U_1(t)$  игрока  $P$  ( $j \in \overline{1, N_t}$ ) и удовлетворяет заданному ограничению:

$$w^{(i)}(t) \in W_1^{(i)}(u^{(j)}(t)) \subset \mathbf{R}^{m_i}, \\ W_1^{(i)}(u^{(j)}(t)) = \{w^{(i)}(t) : w^{(i)}(t) \in \mathbf{R}^{m_i}, R^{(i)}z^{(i)}(t) + L^{(i)}u^{(j)}(t) \leq c^{(i)}\} \neq \emptyset, \quad (2.51)$$

то есть множество  $W_1^{(i)}(u^{(j)}(t))$  ограничивает возможные значения реализации вектора рисков  $w^{(i)}(t)$  в момент времени  $t$ , влияющего на динамику объекта  $\Pi_i$ . В ограничении (2.51):  $m_i \in \mathbf{N}$ ;  $R^{(i)}$  – действительная матрица порядка  $(s_i \times s_i)$ ;  $L^{(i)}$  – действительная матрица порядка  $(s_i \times p)$ ;  $c^{(i)} \in \mathbf{R}^{s_i}$  – фиксированный вектор.

Матрицы  $A(t)$ ,  $B(t)$ ,  $C(t)$  и  $D(t)$  в векторном рекуррентном уравнении (2.44), описывающем динамику объекта  $I$ , есть действительные матрицы порядков  $(r \times r)$ ,  $(r \times p)$ ,  $(r \times q)$  и  $(r \times m)$  соответственно и такие, что для всех  $t \in \overline{0, T-1}$  матрица  $A(t)$  является невырожденной, то есть для нее существует соответствующая ей обратная матрица  $A^{-1}(t)$ , а ранг матрицы  $B(t)$  равен  $p$  (размерности вектора  $u(t)$ ). В векторном рекуррентном уравнении (2.45), описывающем динамику объекта  $\Pi_i$ ,  $i \in \overline{1, n}$ , матрицы  $A^{(i)}(t)$ ,  $B^{(i)}(t)$ ,  $C^{(i)}(t)$  и  $D^{(i)}(t)$  есть действительные матрицы порядков  $(s_i \times s_i)$ ,  $(s_i \times p)$ ,  $(s_i \times q_i)$  и  $(s_i \times m_i)$  соответственно и такие, что для всех  $t \in \overline{0, T-1}$  матрица  $A^{(i)}(t)$  является невырожденной, то есть для нее существует соответствующая ей обратная матрица  $[A^{(i)}(t)]^{-1}$ , а ранг матрицы  $C^{(i)}(t)$  равен  $q_i$  (размерности вектора  $v^{(i)}(t)$ ).

### Информационные условия для субъектов управления

В сфере интересов игрока  $P$  находятся возможные состояния фазового вектора объекта  $I$  и возможные состояния фазовых векторов объектов  $\Pi_i$ ,  $i \in \overline{1, n}$ . При этом для каждого целочисленного промежутка времени (далее – промежутка)  $\overline{\tau, T} \subseteq \overline{0, T}$  ( $\tau < T$ ) игроку  $P$  известен набор  $w(\tau) = \{\tau, y(\tau), z^{(1)}(\tau), z^{(2)}(\tau), \dots, z^{(n)}(\tau)\} \in \overline{0, T} \times \mathbf{R}^r \times \mathbf{R}^{s_1} \times \mathbf{R}^{s_2} \times \dots \times \mathbf{R}^{s_n} = \overline{0, T} \times \mathbf{R}^r \times \prod_{i=1}^n \mathbf{R}^{s_i}$  ( $g(0) = \{0, y_0, z_0^{(1)}(\tau), z_0^{(2)}(\tau), \dots, z_0^{(n)}(\tau)\} = g_0$ ), который будем называть его  $\tau$ -позицией. Игроку  $P$  известен также принцип формирования управления  $v^{(i)}(\cdot) = \{v^{(i)}(t)\}_{t \in \overline{\tau, T-1}}$  ( $\forall t \in \overline{\tau, T-1}: v^{(i)}(t) \in V_1^{(i)}(u^{(j)}(t))$ ) каждым из игроков  $E_i$ ,  $i \in \overline{1, n}$ , на промежутке времени  $\overline{\tau, T}$ , который зависит от выбора на этом промежутке управления  $u^{(j)}(\cdot) = \{u^{(j)}(t)\}_{t \in \overline{\tau, T-1}}$  ( $\forall t \in \overline{\tau, T-1}: u^{(j)}(t) \in U_1(t)$ ) игроком  $P$  ( $j \in \overline{1, N_t}$ ) и описывается соотношением (2.47), причем выбранное каждым игроком  $E_i$  управление сообщается игроку  $P$ .

Таким образом, на каждом промежутке времени  $\overline{\tau, T}$  игрок  $P$  в момент времени  $\tau$  имеет полную информацию о реализациях фазовых век-

торов всех объектов  $I$  и  $\Pi_i$ ,  $i \in \overline{1, n}$ , а также знает принцип формирования управлений игроками  $E_i$ ,  $i \in \overline{1, n}$  на этом промежутке, а выбранные ими управления сообщаются ему.

Предполагается также, что по ходу реализации процесса управления и фиксированного натурального числа  $s \gg T > 0$ , в каждый момент времени  $\tau \in \overline{0, T-1}$  игроку  $P$  на промежутке  $\overline{-s, \tau}$ , предшествующем рассматриваемому промежутку  $\overline{\tau, T}$ , известна следующая информация:

1) известна история реализации фазового вектора объекта  $I$   
 $y_\tau(\cdot) = (y_1(\cdot)_\tau, y_2(\cdot)_\tau, \dots, y_r(\cdot)_\tau) = \{(y_1(t), y_2(t), \dots, y_r(t))\}_{t \in \overline{-s, \tau}} = \{y(\tau)\}_{t \in \overline{-s, \tau}}$ ;

2) для каждого  $i \in \overline{1, n}$  известна история реализации фазового вектора объекта  $\Pi_i$   
 $z_\tau^{(i)}(\cdot) = (z_1^{(i)}(\cdot)_\tau, z_2^{(i)}(\cdot)_\tau, \dots, z_{s_i}^{(i)}(\cdot)_\tau) = \{(z_1^{(i)}(t), z_2^{(i)}(t), \dots, z_{s_i}^{(i)}(t))\}_{t \in \overline{-s, \tau}} = \{z^{(i)}(\tau)\}_{t \in \overline{-s, \tau}}$ ;

3) известна история реализации управляющего воздействия игрока  $P$   
 $u_\tau(\cdot) = (u_1(\cdot)_\tau, u_2(\cdot)_\tau, \dots, u_p(\cdot)_\tau) = \{(u_1(t), u_2(t), \dots, u_p(t))\}_{t \in \overline{-s, \tau-1}} = \{u(t)\}_{t \in \overline{-s, \tau-1}}$ ;

4) для каждого  $i \in \overline{1, n}$  известна история реализации управляющего воздействия игрока  $E_i$   
 $v_\tau^{(i)}(\cdot) = (v_1^{(i)}(\cdot)_\tau, v_2^{(i)}(\cdot)_\tau, \dots, v_{q_i}^{(i)}(\cdot)_\tau) = \{(v_1^{(i)}(t), v_2^{(i)}(t), \dots, v_{q_i}^{(i)}(t))\}_{t \in \overline{-s, \tau-1}} = \{v^{(i)}(t)\}_{t \in \overline{-s, \tau-1}}$ ;

5) известна история реализации вектора рисков, влияющего на динамику объекта  $I$   
 $w_\tau(\cdot) = (w_1(\cdot)_\tau, w_2(\cdot)_\tau, \dots, w_m(\cdot)_\tau) = \{(w_1(t), w_2(t), \dots, w_m(t))\}_{t \in \overline{-s, \tau-1}} = \{w(t)\}_{t \in \overline{-s, \tau-1}}$ ;

6) для каждого  $i \in \overline{1, n}$  известна история реализации вектора рисков, влияющего на динамику объекта  $\Pi_i$   
 $w_\tau^{(i)}(\cdot) = (w_1^{(i)}(\cdot)_\tau, w_2^{(i)}(\cdot)_\tau, \dots, w_{m_i}^{(i)}(\cdot)_\tau) = \{(w_1^{(i)}(t), w_2^{(i)}(t), \dots, w_{m_i}^{(i)}(t))\}_{t \in \overline{-s, \tau-1}} = \{w^{(i)}(t)\}_{t \in \overline{-s, \tau-1}}$ .

Отметим, что на основе этих данных игроку  $P$  можно решить задачу апостериорной идентификации [4–6, 11, 34, 35] всех основных элементов рассматриваемой дискретной динамической системы, то есть определить элементы матриц  $A(t)$ ,  $B(t)$ ,  $C(t)$ ,  $D(t)$ ,  $A^{(i)}(t)$ ,  $B^{(i)}(t)$ ,  $C^{(i)}(t)$  и  $D^{(i)}(t)$  в векторных рекуррентных уравнениях (2.44) и (2.45), описывающих ее динамику, например, используя методику, описанную в пункте «Минимаксная задача прогнозирования параметров социально-экономической динамической системы».

Результат реализации рассматриваемого процесса терминального программного управления с позиции игрока  $P$  оценивается значениями выпуклого функционала  $\alpha$ , определенного на допустимых финальных фазовых состояниях объектов  $I$  и  $\Pi_i$ ,  $i \in \overline{1, n}$ , который удовлетворяет соответствующему условию Липшица. Отметим, что каждое конкретное значение этого функционала оценивает *уровень социально-экономического состояния региона, включая оценку состояния системы здравоохранения, образования, инновационной деятельности и др.*, соответствующий конкретному финальному состоянию фазовых векторов всех объектов рассматриваемой динамической системы. Тогда на промежутке времени  $\tau, T$  целью игрока  $P$  в рассматриваемом процессе управления является минимизация значения выбранного функционала  $\alpha$  путем выбора его допустимого программного управления  $u^{(j)}(\cdot) = \{u^{(j)}(t)\}_{t \in \tau, T-1}$ ,  $j \in \overline{1, N_t}$  ( $\forall t \in \tau, T-1: u^{(j)}(t) \in U_1(t)$ ) на этом промежутке времени, а также обработки имеющейся в его распоряжении информации, в расчете на возможные наихудшие реализации неконтролируемых им параметров рассматриваемой дискретной динамической системы (2.44) – (2.51) на промежутке времени  $\tau, T$ .

Учитывая эти обстоятельства, мы будем говорить, что такие возможности поведения игрока  $P$  совместно с объектами  $I$  и  $\Pi_i$ ,  $i \in \overline{1, n}$ , определяют доминирующий или уровень управления  $I$  рассматриваемого процесса терминального программного управления в дискретной динамической системе (2.44) – (2.51).

Предполагается, что в сфере интересов каждого игрока  $E_i$  ( $i \in \overline{1, n}$ ) находятся возможные состояния только объекта  $\Pi_i$  и для любого рассматриваемого промежутка времени  $\tau, T$  ему сообщается реализация управления  $u^{(j)}(\cdot) = \{u^{(j)}(t)\}_{t \in \tau, T-1}$  ( $\forall t \in \tau, T-1: u^{(j)}(t) \in U_1(t)$ ) игрока  $P$  на этом промежутке времени ( $j \in \overline{1, N_t}$ ), которую он должен учитывать при формировании своего управления  $v^{(i)}(t) \in V_1^{(i)}(u^{(j)}(t))$  для всех  $t \in \tau, T-1$ . При этом в момент времени  $\tau$  ему также известен набор  $g^{(i)}(\tau) = \{\tau, z^{(i)}(\tau)\} \in \overline{0, T} \times \mathbf{R}^{s_i}$  ( $g^{(i)}(0) = \{0, z^{(i)}(0)\} = g_0^{(i)}$ ), который будем называть  $\tau$ -позицией игрока  $E_i$ .

Таким образом, это означает, что выбор возможной реализации программного управления  $v^{(i)}(\cdot) = \{v^{(i)}(t)\}_{t \in \tau, T-1}$



$(\forall t \in \tau, T-1 : v^{(i)}(t) \in V_1^{(i)}(u^{(j)}(t)))$  игроком  $E_i$  на рассматриваемом промежутке времени  $\tau, T$  в каждый момент времени  $t \in \tau, T-1$  в соответствии с ограничением (2.47) стеснен допустимой реализацией программного управления  $u^{(j)}(\cdot) = \{u^{(j)}(t)\}_{t \in \tau, T-1}$  ( $\forall t \in \tau, T-1 : u^{(j)}(t) \in U_1(t)$ ) игрока  $P$  ( $j \in \overline{1, N_i}$ ), которое сообщается игроку  $E_i$  ( $i \in \overline{1, n}$ ), а значения  $u^{(j)}(t)$  в каждый момент времени  $t \in \tau, T-1$  определяют соответствующие им ограничения (2.47). При этом введенное ограничение (2.47) устанавливает, что поведение каждого игрока  $E_i$  ( $i \in \overline{1, n}$ ) при достижении поставленных перед ним целей, которые будут сформулированы в следующих пунктах данного раздела, явно зависит от поведения игрока  $P$ . Тогда, учитывая этот факт, совокупность  $n$  игроков  $E_i$ ,  $i \in \overline{1, n}$ , называемых также игроком  $E$ , и управляемых ими объектов  $\Pi_i$ ,  $i \in \overline{1, n}$  образуют подчиненный или уровень управления  $\Pi$  рассматриваемого процесса управления (подчиненный доминирующему или уровню управления  $\Lambda$ ).

Результат реализации рассматриваемого процесса управления с позиции игрока  $E$  оценивается значениями выпуклого терминального функционала  $\beta$ , определенного на допустимых финальных фазовых состояниях объектов  $\Pi_i$ ,  $i \in \overline{1, n}$ , который удовлетворяет соответствующему условию Липшица. Отметим, что каждое конкретное значение этого функционала оценивает *уровень социально-экономического состояния муниципалитетов, образующих регион, включая оценку состояния системы здравоохранения, образования, инновационной деятельности и др.*, соответствующий конкретному финальному состоянию фазовых векторов всех объектов  $\Pi_i$ ,  $i \in \overline{1, n}$  рассматриваемой динамической системы (2.44) – (2.51). Тогда на промежутке времени  $\tau, T$  целью игрока  $E$  в рассматриваемом процессе управления является минимизация значения функционала  $\beta$  путем выбора каждым из игроков  $E_i$ ,  $i \in \overline{1, n}$  на промежутке времени  $\tau, T$ , соответствующих управлений  $v^{(i)}(\cdot) = \{v^{(i)}(t)\}_{t \in \tau, T-1}$  ( $\forall t \in \tau, T-1 : v^{(i)}(t) \in V_1^{(i)}(u^{(j)}(t))$ ), которые зависят, в соответствии с соотношением (2.47), от выбора на этом промежутке игроком  $P$  управления  $u^{(j)}(\cdot) = \{u^{(j)}(t)\}_{t \in \tau, T-1}$  ( $\forall t \in \tau, T-1 : u^{(j)}(t) \in U_1(t)$ ),  $j \in \overline{1, N_i}$ , а также обработки имеющейся в его распоряжении информации в расчете на возможные наихудшие реализации неконтролируемых им параметров

рассматриваемой дискретной динамической системы (2.44) – (2.51) на этом промежутке времени.

Предполагается также, что в рассматриваемом процессе управления для любого момента времени  $t \in \overline{0, T}$  игроку  $P$  известны соотношения (2.44) – (2.51), а каждому игроку  $E_i$ ,  $(i \in \overline{1, n})$ , известны соотношения (2.45), (2.47), (2.49), (2.51) при фиксированном значении индекса  $i$  (игроку  $E$  эти соотношения известны для всех  $i \in \overline{1, n}$ ).

### **Формализация задачи двухуровневого иерархического минимаксного программного управления социально-экономическим состоянием региона**

Введем ряд определений, которые необходимы для строгой математической формализации задачи двухуровневого иерархического минимаксного программного управления благосостоянием региона для рассматриваемой дискретной динамической системы (2.44) – (2.51).

Используя ограничение (2.46), определим множество  $U(\overline{\tau, \vartheta}) \subset \mathbf{R}^{(p \times (\vartheta - \tau))}$  программных управлений  $u(\cdot) = \{u(t)\}_{t \in \overline{\tau, \vartheta - 1}}$  игрока  $P$  на фиксированном промежутке времени  $\overline{\tau, \vartheta} \subseteq \overline{0, T}$  ( $\tau < \vartheta$ ) соотношением

$$U(\overline{\tau, \vartheta}) = \{u(\cdot) : u(\cdot) \in \mathbf{R}^{(p \times (\vartheta - \tau))}, \forall t \in \overline{\tau, \vartheta - 1}, u(t) \in U_1(t)\}, \quad (2.52)$$

которое есть множество всех допустимых реализаций программных управлений  $u(\cdot)$  (всех возможных сценариев реализации управления игрока  $P$ ) на целочисленном промежутке времени  $\overline{\tau, \vartheta}$  и в силу сделанного предположения является конечным множеством векторов пространства  $\mathbf{R}^{(p \times (\vartheta - \tau))}$ .

Для фиксированных программного управления  $u(\cdot) \in U(\overline{\tau, \vartheta})$  и индекса  $i \in \overline{1, n}$ , используя ограничение (2.47), определим множество  $V^{(i)}(\overline{\tau, \vartheta}; u(\cdot)) \subset \mathbf{R}^{(q_i \times (\vartheta - \tau))}$  допустимых реализаций программных управлений  $v^{(i)}(\cdot) = \{v^{(i)}(t)\}_{t \in \overline{\tau, \vartheta - 1}}$  игрока  $E_i$  на промежутке времени  $\overline{\tau, \vartheta}$  соответствующих  $u(\cdot)$ , следующим соотношением

$$V^{(i)}(\overline{\tau, \vartheta}; u(\cdot)) = \{v^{(i)}(\cdot) : v^{(i)}(\cdot) \in \mathbf{R}^{(q_i \times (\vartheta - \tau))}(\overline{\tau, \vartheta - 1}), \forall t \in \overline{\tau, \vartheta - 1}, v^{(i)}(t) \in V_1^{(i)}(u(t))\}, \quad (2.53)$$

которое есть множество всех допустимых реализаций программных управлений  $(\cdot)$  (всех возможных сценариев реализации управления игрока  $E_i$ ) на целочисленном промежутке времени  $\overline{\tau, \mathcal{G}}$  и в силу сделанного предположения является конечным множеством векторов пространства  $\mathbf{R}^{(q_i \times (\mathcal{G} - \tau))}$ .

Далее, для фиксированного программного управления  $u(\cdot) \in \overline{U(\tau, \mathcal{G})}$ , используя ограничение (2.50), определим множество  $\mathbf{W}(\tau, \mathcal{G}; u(\cdot)) \in \text{comp}(\mathbf{S}_m(\tau, \mathcal{G} - 1))$  реализаций рисков  $w(\cdot) = \{w(t)\}_{t \in \overline{\tau, \mathcal{G} - 1}}$  для объекта  $I$  на промежутке времени  $\overline{\tau, \mathcal{G}}$  соответствующих  $u(\cdot)$ , следующим соотношением

$$\mathbf{W}(\tau, \mathcal{G}; u(\cdot)) = \{w(\cdot) : w(\cdot) \in \mathbf{S}_m(\tau, \mathcal{G} - 1), \forall t \in \overline{\tau, \mathcal{G} - 1}, w(t) \in \mathbf{W}_1(u(t))\}, \quad (2.54)$$

которое есть множество всех допустимых реализаций вектора рисков  $w(\cdot)$  (всех возможных сценариев реализации вектора рисков в рассматриваемом процессе управления) на целочисленном промежутке времени  $\overline{\tau, \mathcal{G}}$ .

Для фиксированных программного управления  $u(\cdot) \in \overline{U(\tau, \mathcal{G})}$  и индекса  $i \in \overline{1, n}$ , используя ограничение (2.51), определим множество  $\mathbf{W}^{(i)}(\tau, \mathcal{G}; u(\cdot)) \in \text{comp}(\mathbf{S}_{m_i}(\tau, \mathcal{G} - 1))$  реализаций рисков  $w^{(i)}(\cdot) = \{w^{(i)}(t)\}_{t \in \overline{\tau, \mathcal{G} - 1}}$  для объекта  $\Pi_i$  на промежутке времени  $\overline{\tau, \mathcal{G}}$  соответствующих  $u(\cdot)$ , следующим соотношением

$$\mathbf{W}^{(i)}(\tau, \mathcal{G}; u(\cdot)) = \{w^{(i)}(\cdot) : w^{(i)} \in \mathbf{S}_{m_i}(\tau, \mathcal{G} - 1), \forall t \in \overline{\tau, \mathcal{G} - 1}, w^{(i)}(t) \in \mathbf{W}_1^{(i)}(u(t))\}, \quad (2.55)$$

которое есть множество всех допустимых реализаций вектора рисков  $w^{(i)}(\cdot)$  (всех возможных сценариев реализации вектора рисков в рассматриваемом процессе управления) на целочисленном промежутке времени  $\overline{\tau, \mathcal{G}}$ .

Далее, для фиксированного программного управления  $u(\cdot) \in \overline{U(\tau, \mathcal{G})}$  введем следующие множества

$$\mathbf{V}(\tau, \mathcal{G}; u(\cdot)) = \prod_{i=1}^n \mathbf{V}^{(i)}(\tau, \mathcal{G}; u(\cdot)), \quad \hat{\mathbf{W}}(\tau, \mathcal{G}; u(\cdot)) = \prod_{i=1}^n \mathbf{W}^{(i)}(\tau, \mathcal{G}; u(\cdot)), \quad (2.56)$$

соответственно всех возможных наборов  $v(\cdot) = (v^{(1)}(\cdot), \dots, v^{(2)}(\cdot), v^{(n)}(\cdot)) \in \prod_{i=1}^n V^{(i)}(\tau, \mathcal{G}; u(\cdot)) = \overline{V(\tau, \mathcal{G}; u(\cdot))}$  допустимых программных управлений совокупности игроков  $E_i$   $i \in \overline{1, n}$  или допустимых программных управлений  $v(\cdot)$  игрока  $E$  на промежутке времени  $\overline{\tau, \mathcal{G}}$  и всех наборов  $\hat{w}(\cdot) = (w^{(1)}(\cdot), \dots, w^{(2)}(\cdot), w^{(n)}(\cdot)) \in \prod_{i=1}^n W^{(i)}(\tau, \mathcal{G}; u(\cdot)) = \overline{\hat{W}(\tau, \mathcal{G}; u(\cdot))}$  допустимых реализаций векторов рисков для совокупности объектов  $\Pi_i$   $i \in \overline{1, n}$  (или обобщенного объекта  $\Pi$ ), на промежутке времени  $\overline{\tau, \mathcal{G}}$ .

Пусть для любого промежутка времени  $\overline{\tau, T} \subseteq \overline{0, T}$  ( $\tau < T$ ) множество  $\mathbf{G}(\tau) = \{\tau\} \times \mathbf{R}^r \times \prod_{i=1}^n \mathbf{R}^{s_i}$  есть множество всех  $\tau$ -позиций  $g(\tau) = \{\tau, y(\tau), z^{(1)}(\tau), z^{(2)}(\tau), \dots, z^{(n)}(\tau)\} \in \overline{0, T} \times \mathbf{R}^r \times \prod_{i=1}^n \mathbf{R}^{s_i}$  ( $g(0) = \{0, y(0), z^{(1)}(0), z^{(2)}(0), \dots, z^{(n)}(0)\} = g_0$ ) игрока  $P$  ( $\mathbf{G}(0) = \{g(0)\} = \{g_0\} = \mathbf{G}_0$ ). Тогда для оценки качества рассматриваемого динамического процесса (2.44) – (2.51) на уровне управления  $I$  введем функционал

$$\alpha : \mathbf{G}(\tau) \times U(\tau, T) \times V(\tau, T) \times W(\tau, T) \times \hat{W}(\tau, T) = \Gamma(\tau, T; \alpha) \rightarrow \mathbf{E} = ]-\infty, +\infty[, \quad (2.57)$$

значения которого для допустимых на промежутке времени  $\overline{\tau, T}$  реализаций  $g(\tau) \in \mathbf{G}(\tau)$ ,  $u(\cdot) \in U(\tau, T)$ ,  $v(\cdot) = \{v^{(1)}(\cdot), v^{(2)}(\cdot), \dots, v^{(n)}(\cdot)\} \in V(\tau, T)$ ,  $w(\cdot) \in W(\tau, T)$  и  $\hat{w}(\cdot) = \{w^{(1)}(\cdot), w^{(2)}(\cdot), \dots, w^{(n)}(\cdot)\} \in \hat{W}(\tau, T)$  определяются следующим конкретным соотношением:

$$\alpha(g(\tau), u(\cdot), v(\cdot), w(\cdot), \hat{w}(\cdot)) = \mu \cdot \gamma(y(T)) + \sum_{i=1}^n \mu_i \cdot \beta^{(i)}(z^{(i)}(T)). \quad (2.58)$$

Здесь символом  $y(T) = y_T(\tau, T; y(\tau), u(\cdot), v(\cdot), w(\cdot))$  обозначено состояние в финальный момент времени  $T$  траектории объекта  $I$  на промежутке времени  $\overline{\tau, T}$ , а через  $z^{(i)}(T) = z_T^{(i)}(\tau, T; z^{(i)}(\tau), u(\cdot), v^{(i)}(\cdot), w^{(i)}(\cdot))$  – состояние в этот же момент времени траектории объекта  $\Pi_i$  ( $i \in \overline{1, n}$ ) на промежутке времени  $\overline{\tau, T}$ , которые порождены соответственно наборами

$\{y(\tau), u(\cdot), v(\cdot), w(\cdot)\}$  и  $\{z^{(i)}(\tau), u(\cdot), v^{(i)}(\cdot), w^{(i)}(\cdot)\}$  и формируются согласно рекуррентным уравнениям (2.44) и (2.45) ( $y(0) = y_0, z^{(i)}(0) = z_0^{(i)}$ );  $\mu \in \mathbf{R}^1$  и  $\mu^{(i)} \in \mathbf{R}^1, i \in \overline{1, n}$  – заданные числовые параметры, которые удовлетворяют следующим условиям:

$$\mu \geq 0; \forall i \in \overline{1, n}: \mu_i \geq 0; \sum_{i=1}^n \mu_i = 1 - \mu; \quad (2.59)$$

функционалы  $\gamma: \mathbf{R}^r \rightarrow \mathbf{R}^1$  и  $\beta^{(i)}: \mathbf{R}^{s_i} \rightarrow \mathbf{R}^1, i \in \overline{1, n}$  являются выпуклыми и удовлетворяют соответственно следующим условиям Липшица:

$$\begin{aligned} \forall (y^{(1)}, y^{(2)}) \in \mathbf{R}^r \times \mathbf{R}^r: & \left\| \gamma(y^{(1)}) - \gamma(y^{(2)}) \right\|_r \leq L \left\| y^{(1)} - y^{(2)} \right\|_r; \\ \forall (z^{(i,1)}, z^{(i,2)}) \in \mathbf{R}^{s_i} \times \mathbf{R}^{s_i}: & \left\| \beta^{(i)}(z^{(i,1)}) - \beta^{(i)}(z^{(i,2)}) \right\|_{s_i} \leq L \left\| z^{(i,1)} - z^{(i,2)} \right\|_{s_i}, \end{aligned}$$

где  $L \in \mathbf{R}^1$  и  $L^{(i)} \in \mathbf{R}^1, i \in \overline{1, n}$  – постоянные Липшица.

Далее, обозначим через  $\mathbf{G}^{(i)}(\tau) = \{\tau\} \times \mathbf{R}^{s_i}$  множество всех возможных  $\tau$ -позиций  $g^{(i)}(\tau) = \{\tau, z^{(i)}(\tau)\} \in \{\tau\} \times \mathbf{R}^{s_i}$  игрока  $E_i$  ( $i \in \overline{1, n}$ ;  $g^{(i)}(0) = \{0, z^{(i)}(0)\} = \{0, z_0^{(i)}\} = g_0^{(i)}$ ;  $\mathbf{G}^{(i)}(0) = \{g^{(i)}(0)\} = \{g_0^{(i)}\} = \mathbf{G}_0^{(i)}$ ), а через  $\hat{\mathbf{G}}(\tau) = \{\tau\} \times \prod_{i=1}^n \mathbf{R}^{s_i}$  обозначим множество всех возможных  $\tau$ -позиций  $\hat{g}(\tau) = \{\tau, z^{(1)}(\tau), z^{(2)}(\tau), \dots, z^{(n)}(\tau)\} \in \overline{0, T} \times \mathbf{R}^r \times \prod_{i=1}^n \mathbf{R}^{s_i}$  ( $\hat{g}(0) = \{\tau, z^{(1)}(0), z^{(2)}(0), \dots, z^{(n)}(0)\} = \hat{g}_0$ ) для совокупности игроков  $E_i, i \in \overline{1, n}$ , или игрока  $E$  (совокупности игроков  $E_i, i \in \overline{1, n}$ ), то есть для  $\Pi$  уровня управления ( $\hat{\mathbf{G}}(0) = \{\hat{g}(0)\} = \{\hat{g}_0\} = \hat{\mathbf{G}}_0$ ).

Тогда качество управления для рассматриваемого динамического процесса каждым из игроков  $E_i$  ( $i \in \overline{1, n}$ ) на уровне управления  $\Pi$  рассматриваемого процесса управления оценивается соответствующим ему функционалом  $\hat{\beta}^{(i)}$  вида

$$\hat{\beta}^{(i)}: \mathbf{G}^{(i)}(\tau) \times \overline{U(\tau, T)} \times \overline{V^{(i)}(\tau, T)} \times \overline{W^{(i)}(\tau, T)} = \overline{\Gamma(\tau, T; \hat{\beta}^{(i)})} \rightarrow \mathbf{E}, \quad (2.60)$$

значения которого для допустимых на промежутке времени  $\overline{\tau, T}$  ре-

ализаций  $g^{(i)}(\tau) \in G^{(i)}(\tau)$ ,  $u(\cdot) \in U(\overline{\tau, T})$ ,  $v^{(i)}(\cdot) \in V^{(i)}(\overline{\tau, T})$  и  $w^{(i)}(\cdot) \in W^{(i)}(\overline{\tau, T})$  определяются следующим конкретным соотношением:

$$\hat{\beta}^{(i)}(g^{(i)}(\tau), u(\cdot), v^{(i)}(\cdot), w^{(i)}(\cdot)) = \beta^{(i)}(z^{(i)}(T)), \quad (2.61)$$

то есть этот функционал оценивает качество управления игроком  $E_i$  на фиксированном промежутке времени  $\overline{\tau, T}$  финальными фазовыми состояниями объекта  $\Pi_i$  ( $i \in \overline{1, n}$ ).

Следует отметить, что если рассмотреть функционал

$$\hat{\gamma} : G(\tau) \times U(\overline{\tau, T}) \times V(\overline{\tau, T}) \times W(\overline{\tau, T}) = \Gamma(\overline{\tau, T}; \hat{\gamma}) \rightarrow \mathbf{E}, \quad (2.62)$$

значения которого для допустимых на промежутке времени  $\overline{\tau, T}$  реализаций  $g(\tau) \in G(\tau)$ ,  $u(\cdot) \in U(\overline{\tau, T})$ ,  $v(\cdot) = \{v^{(1)}(\cdot), v^{(2)}(\cdot), \dots, v^{(n)}(\cdot)\} \in V(\overline{\tau, T})$ ,  $w(\cdot) \in W(\overline{\tau, T})$  определяются соотношением

$$\hat{\gamma}(g(\tau), u(\cdot), v(\cdot), w(\cdot)) = \gamma(y(T)), \quad (2.63)$$

оценивая качество управления игроком  $P$  на фиксированном промежутке времени  $\overline{\tau, T}$  финальными фазовыми состояниями объекта  $I$  на уровне управления  $I$  динамической системой (2.44) – (2.51), и ввести в рассмотрение векторный функционал  $\delta = (\hat{\gamma}, \hat{\beta}^{(1)}, \hat{\beta}^{(2)}, \dots, \hat{\beta}^{(n)})$  такой, что

$$\delta : \Gamma(\overline{\tau, T}; \hat{\gamma}) \times \prod_{i=1}^n \Gamma(\overline{\tau, T}; \hat{\beta}^{(i)}) \rightarrow \mathbf{E}^{n+1}, \quad (2.64)$$

значения  $(n+1)$ -го параметра которого определяются для допустимых реализаций их аргументов согласно соотношениям (2.60) – (2.63), то можно утверждать, что функционал  $\alpha$ , определенный соотношениями (2.57) – (2.59), является его сверткой, полученной в соответствии с применением метода скаляризации (см., например, [38, 39, 43]) векторных функционалов.

Таким образом, функционал  $\alpha$  является выпуклым и позволяет оценивать функционирование на промежутке  $\overline{\tau, T}$  двухуровневой динамической системы (2.44) – (2.51) в целом, рассматриваемой как совокупности объектов  $I$ ,  $\Pi_i$ ,  $i \in \overline{1, n}$ , игроков  $P$  и  $E_i$ ,  $i \in \overline{1, n}$  (или  $E$ ), и объектов

$\Pi_i, i \in \overline{1, n}$ , игроков  $E_i, i \in \overline{1, n}$  (или  $E$ ), определяющих соответственно уровни управления  $I$  и  $\Pi$ , являясь сверткой векторного терминального функционала  $\mathcal{D}$ , для скаляризации которого используются числовые параметры  $\mu \in \mathbf{R}^1$  и  $\mu^{(i)} \in \mathbf{R}^1, i \in \overline{1, n}$ , оценивающие значимость каждого из функционалов  $\gamma$  и  $\beta^{(i)}, i \in \overline{1, n}$  соответственно. Отметим, что параметры  $\mu$  и  $\mu^{(i)}, i \in \overline{1, n}$  могут определяться, например, экспертным путем на основании статистических и экспериментальных данных о рассматриваемом динамическом процессе (2.44) – (2.51).

Тогда, на основании изложенного выше, цель каждого из игроков  $E_i (i \in \overline{1, n})$  (которые в совокупности с объектами  $\Pi_i, i \in \overline{1, n}$  определяют уровень управления  $\Pi$  в рассматриваемом динамическом процессе (2.44) – (2.51)) при минимаксном терминальном программном управлении на фиксированном промежутке времени  $\overline{\tau, T} \subseteq \overline{0, T} (\tau < T)$  соответственно объектом  $\Pi_i$  содержательно может быть сформулирована следующим образом. Будем считать, что игрок  $E_i (i \in \overline{1, n})$ , используя имеющиеся у него информационные и управляющие возможности, заинтересован в таком исходе процесса программного управления в динамической системе (2.44) – (2.51) на промежутке времени  $\overline{\tau, T}$ , при котором функционал  $\hat{\beta}^{(i)}$ , определяемый соотношениями (2.60), (2.61), для любых допустимых реализаций его  $\tau$ -позиций  $g^{(i)}(\tau) = \{\tau, z^{(i)}(\tau)\} \in G^{(i)}(\tau)$  ( $g^{(i)}(0) = g_0^{(i)} \in G_0^{(i)}$ ) и программного управления  $u(\cdot) \in U(\tau, T)$  игрока  $P$  на этом промежутке времени принимает наименьшее возможное значение, за счет возможного выбора своего допустимого программного управления  $v^{(i)}(\cdot) \in V^{(i)}(\tau, T; u(\cdot))$ . При этом не исключается из анализа такая ситуация, когда параметр  $w^{(i)}(\cdot) \in W^{(i)}(\tau, T; u(\cdot))$  может реализоваться на промежутке времени  $\tau, T$  наихудшим образом для игрока  $E_i$ , то есть определяя наибольшее возможное значение функционала  $\hat{\beta}^{(i)}$  при фиксированных реализациях элементов  $g^{(i)}(\tau), u(\cdot)$  и  $v^{(i)}(\cdot)$ .

Для осуществления этой цели игрока  $E_i (i \in \overline{1, n})$  ниже формулируется следующая задача минимаксного терминального программного управления объектом  $\Pi_i$  на уровне управления  $\Pi$  двухуровневой иерархической динамической системы (2.44) – (2.51).

**Задача 2.7.** Для фиксированных индекса  $i \in \overline{1, n}$ , промежутка времени  $\overline{\tau, T} \subseteq \overline{0, T}$  ( $\tau < T$ ), допустимой на уровне управления  $\Pi$  двух-уровневой иерархической динамической системы (2.44) – (2.51) реализации  $\tau$ -позиции  $g^{(i)}(\tau) = \{\tau, z^{(i)}(\tau)\} \in G^{(i)}(\tau)$  ( $g^{(i)}(0) = g_0^{(i)} \in G_0^{(i)}$ ) игрока  $E_i$  и допустимой реализации программного управления  $u(\cdot) \in U(\tau, T)$  игрока  $P$  на уровне управления  $I$  требуется найти множество  $V^{(i,e)}(\overline{\tau, T}; g^{(i)}(\tau), u(\cdot)) \subseteq V^{(i)}(\overline{\tau, T}; u(\cdot))$  минимаксных терминальных программных управлений  $v^{(i,e)}(\cdot) \in V^{(i)}(\overline{\tau, T}; u(\cdot))$  игрока  $E_i$  соответствующих управлению  $u(\cdot)$  игрока  $P$ , которое определяется соотношением

$$\begin{aligned} V^{(i,e)}(\overline{\tau, T}; g^{(i)}(\tau), u(\cdot)) &= \{v^{(i,e)}(\cdot) : v^{(i,e)}(\cdot) \in V^{(i)}(\overline{\tau, T}; u(\cdot)), \\ c_{\hat{\beta}^{(i)}}^{(e)}(\overline{\tau, T}; g^{(i)}(\tau), u(\cdot)) &= \max_{w^{(i)}(\cdot) \in W^{(i)}(\overline{\tau, T}; u(\cdot))} \hat{\beta}^{(i)}(g^{(i)}(\tau), u(\cdot), v^{(i,e)}(\cdot), w^{(i)}(\cdot)) = \\ &= \min_{v^{(i)}(\cdot) \in V^{(i)}(\overline{\tau, T}; u(\cdot))} \max_{w^{(i)}(\cdot) \in W^{(i)}(\overline{\tau, T}; u(\cdot))} \hat{\beta}^{(i)}(g^{(i)}(\tau), u(\cdot), v^{(i)}(\cdot), w^{(i)}(\cdot)), \quad (2.65) \end{aligned}$$

где функционал  $\hat{\beta}^{(i)}$  определен соотношениями (2.60) и (2.61).

Множество  $V^{(e)}(\overline{\tau, T}; \hat{g}(\tau), u(\cdot)) = \prod_{i=1}^n V^{(i,e)}(\overline{\tau, T}; g^{(i)}(\tau), u(\cdot)) = \{v^{(1,e)}(\cdot), v^{(2,e)}(\cdot), \dots, v^{(n,e)}(\cdot)\} \subseteq V(\overline{\tau, T}; u(\cdot))$  ( $\hat{g}(\tau) = \{\tau, z^{(1)}(\tau), z^{(2)}(\tau), \dots, z^{(n)}(\tau)\} \in \hat{G}(\tau)$ ,  $\hat{g}(0) = \{0, z^{(1)}(0), z^{(2)}(0), \dots, z^{(n)}(0)\} = \hat{g}_0 \in \hat{G}_0$ ), которое формируется из решения  $n$  задач 2.7 при  $i \in \overline{1, n}$ , будем называть множеством минимаксных терминальных программных управлений игрока  $E$  для уровня управления  $\Pi$  динамической системы (2.44) – (2.51), а соответствующее ему значение вектора  $c_{\hat{\beta}}^{(e)}(\overline{\tau, T}; \hat{g}(\tau), u(\cdot)) = (c_{\hat{\beta}^{(1)}}^{(e)}(\overline{\tau, T}; g^{(1)}(\tau), u(\cdot)), c_{\hat{\beta}^{(2)}}^{(e)}(\overline{\tau, T}; g^{(2)}(\tau), u(\cdot)), \dots, c_{\hat{\beta}^{(n)}}^{(e)}(\overline{\tau, T}; g^{(n)}(\tau), u(\cdot))) \in E^n$  – значением результата минимаксного терминального программного управления для игрока  $E$  на уровне управления  $\Pi$  этой системы. При этом оба данных элемента соответствуют фиксированному и допустимому промежутку времени  $\overline{\tau, T}$ ,  $\tau$ -позиции  $\hat{g}(\tau) \in \hat{G}(\tau)$  ( $\hat{g}(0) = \hat{g}_0 \in \hat{G}_0$ ) игрока  $E$  на



уровне управления  $\Pi$  и управлению  $u(\cdot) \in U(\overline{\tau, T})$  игрока  $P$  на уровне управления  $I$ . Заметим, что число  $c_{\hat{\beta}}^{(e)}(\overline{\tau, T}; \hat{g}(\tau), u(\cdot))$  является конкретным значением векторного функционала  $\hat{\beta} = (\hat{\beta}^{(1)}, \hat{\beta}^{(2)}, \dots, \hat{\beta}^{(n)})$ , определяемого на основании (2.60) следующим отображением:

$$\hat{\beta}: \Gamma(\overline{\tau, T}; \hat{\beta}) = \prod_{i=1}^n \Gamma(\overline{\tau, T}; \hat{\beta}^{(i)}) \rightarrow \mathbf{E}^n,$$

где для каждого индекса  $i \in \overline{1, n}$  значение функционала  $\hat{\beta}^{(i)}$  определяется по формулам (2.61). Векторный функционал  $\hat{\beta}$  можно было бы рассматривать в роли критерия качества поведения игрока  $E$  (совокупности игроков  $E_i, i \in \overline{1, n}$ ) на уровне управления  $\Pi$ , в ситуации, когда все игроки  $E_i, i \in \overline{1, n}$  имеют общую цель, то есть входят в одну коалицию.

Таким образом, решение задачи 2.7 определяет на промежутке времени  $\tau, T$  принцип формирования минимаксных терминальных программных управлений  $v^{(i,e)}(\cdot) \in V^{(i,e)}(\overline{\tau, T}; g^{(i)}(\tau), u(\cdot)) \subseteq V^{(i)}(\overline{\tau, T}; u(\cdot))$  каждым из игроков  $E_i (i \in \overline{1, n})$  на уровне управления  $\Pi$ , отвечающих реализации его  $\tau$ -позиции  $g^{(i)}(\tau) = \{\tau, z^{(i)}(\tau)\} \in G^{(i)}(\tau)$  ( $g^{(i)}(0) = g_0^{(i)} \in G_0^{(i)}$ ) и подчиненных выбору управления  $u(\cdot) \in U(\overline{\tau, T})$  игроком  $P$  на  $I$  уровне управления.

Отметим, что, учитывая конечность множеств допустимых программных управлений  $U(\overline{\tau, T})$  и  $V^{(i)}(\overline{\tau, T}; u(\cdot))$  игроков  $P$  и  $E_i (i \in \overline{1, n})$  соответственно, многогранные свойства множества допустимых программных рисков  $W^{(i)}(\overline{\tau, T}; u(\cdot))$ , соответствующего фиксированному программному управлению  $u(\cdot) \in U(\overline{\tau, T})$  игрока  $P$ , и соотношений (2.52) – (2.65), можно показать [11, 13, 14], что решение задачи 2.7 существует и сводится к реализации конечной рекуррентной последовательности решений задач линейного и выпуклого математического программирования, а также конечного числа задач дискретной оптимизации.

Учитывая введенные выше определения и сделанные предположения относительно параметров и информационных связей для двухуровневой иерархической динамической системы (2.44) – (2.51), цель игрока  $P$ , определяющего уровень управления  $I$  в этой системе при реализации рассматривае-

мого процесса двухуровневого минимаксного программного управления на заданном промежутке времени  $\overline{\tau, T} \subseteq \overline{0, T}$  ( $\tau < T$ ), то есть управления объектами  $I$  и  $\Pi_i$ ,  $i \in \overline{1, n}$ , содержательно может быть сформулирована следующим образом. Будем считать, что игрок  $P$ , используя имеющиеся у него информационные и управляющие возможности, заинтересован в таком исходе процесса программного управления в динамической системе (2.44) – (2.51) на промежутке времени  $\overline{\tau, T}$ , при котором функционал  $\alpha$ , определяемый соотношениями (2.57) – (2.59) для любой допустимой реализации его  $\tau$ -позиции  $g(\tau) = \{\tau, y(\tau), z^{(1)}(\tau), z^{(2)}(\tau), \dots, z^{(n)}(\tau)\} \in \mathbf{G}(\tau)$  ( $g(0) = \{0, y(0), z^{(1)}(0), z^{(2)}(0), \dots, z^{(n)}(0)\} = g_0 \in \mathbf{G}_0$ ) принимает наименьшее возможное значение за счет возможного выбора допустимых своего программного управления  $u(\cdot) \in \mathbf{U}(\overline{\tau, T})$  и программного минимаксного управления  $v^{(e)}(\cdot) = \{v^{(1,e)}(\cdot), v^{(2,e)}(\cdot), \dots, v^{(n,e)}(\cdot)\} \in \mathbf{V}^{(e)}(\overline{\tau, T}; \hat{g}(\tau), u(\cdot))$  игрока  $E$  (формируемого игроками  $E_i$ ,  $i \in \overline{1, n}$  путем решения  $n$  задач 2.7 при  $i \in \overline{1, n}$ ), подчиненного игроку  $P$  (где  $\tau$ -позиция  $\hat{g}(\tau) = \{\tau, z^{(1)}(\tau), z^{(2)}(\tau), \dots, z^{(n)}(\tau)\} \in \hat{\mathbf{G}}(\tau)$  ( $\hat{g}(0) = \{0, z^{(1)}(0), z^{(2)}(0), \dots, z^{(n)}(0)\} = \hat{g}_0 \in \hat{\mathbf{G}}_0$ ), определяющая состояние всех объектов  $\Pi_i$ ,  $i \in \overline{1, n}$ , на уровне управления  $\Pi$  в момент времени  $\tau$ , формируется из  $\tau$ -позиции  $g(\tau)$ ). Отметим, что при анализе системы (2.44) – (2.51) не исключается такая ситуация, когда параметры-риски  $w(\cdot) \in \mathbf{W}(\overline{\tau, T}; u(\cdot))$  и  $w^{(i)}(\cdot) \in \mathbf{W}^{(i)}(\overline{\tau, T}; u(\cdot))$  могут реализоваться наихудшим образом для игрока  $P$ , то есть определяя наибольшее возможное значение функционала  $\alpha$  при фиксированных реализациях элементов  $g(\tau)$ ,  $u(\cdot)$  и  $v^{(e)}(\cdot)$ .

Ниже, для реализации достижения этой цели игрока  $P$ , связанной с уровнем управления  $I$ , формулируется следующая задача минимаксного терминального программного управления объектами  $I$  и  $\Pi_i$ ,  $i \in \overline{1, n}$  на уровне управления  $I$  двухуровневой иерархической динамической системы (2.44) – (2.51).

**Задача 2.8.** Для фиксированных промежутка времени  $\overline{\tau, T} \subseteq \overline{0, T}$  ( $\tau < T$ ), допустимой на уровне управления  $I$  двухуровневой иерархической динамической системы (2.44) – (2.51) реализации  $\tau$ -позиции

$g(\tau) = \{\tau, y(\tau), z^{(1)}(\tau), z^{(2)}(\tau), \dots, z^{(n)}(\tau)\} \in \mathbf{G}(\tau)$  ( $g(0) = \{0, y(0), z^{(1)}(0), z^{(2)}(0), \dots, z^{(n)}(0)\} = g_0 \in \mathbf{G}_0$ ) игрока  $P$  требуется найти множество  $U^{(e)}(\tau, \bar{T}; g(\tau))$  программных управлений  $u^{(e)}(\cdot) \in U(\tau, \bar{T})$  игрока  $P$ , которое определяется следующим соотношением

$$\begin{aligned} U^{(e)}(\tau, \bar{T}; g(\tau)) &= \{u^{(e)}(\cdot) : u^{(e)}(\cdot) \in U(\tau, \bar{T}), c_\alpha^{(e)}(\tau, \bar{T}; g(\tau)) = \\ &= \min_{v^{(e)}(\cdot) \in V^{(e)}(\tau, \bar{T}; \hat{g}(\tau), u^{(e)}(\cdot))} \max_{w(\cdot) \in W(\tau, \bar{T}; u^{(e)}(\cdot))} \alpha(g(\tau), u^{(e)}(\cdot), v^{(e)}(\cdot), w(\cdot), \hat{w}(\cdot)) = \\ &\quad \hat{w}(\cdot) \in \hat{W}(\tau, \bar{T}; u^{(e)}(\cdot)) \\ &= \min_{u(\cdot) \in U(\tau, \bar{T})} \min_{v^{(e)}(\cdot) \in V^{(e)}(\tau, \bar{T}; \hat{g}(\tau), u(\cdot))} \max_{w(\cdot) \in W(\tau, \bar{T}; u(\cdot))} \alpha(g(\tau), u(\cdot), v^{(e)}(\cdot), w(\cdot), \hat{w}(\cdot)). \end{aligned} \quad (2.66)$$

$$\hat{w}(\cdot) \in \hat{W}(\tau, \bar{T}; u(\cdot))$$

Здесь функционал  $\alpha$  определен соотношениями (2.57) – (2.59);  $\tau$ -позиция  $\hat{g}(\tau) = \{\tau, z^{(1)}(\tau), z^{(2)}(\tau), \dots, z^{(n)}(\tau)\} \in \hat{\mathbf{G}}(\tau)$  ( $\hat{g}(0) = \{0, z^{(1)}(0), z^{(2)}(0), \dots, z^{(n)}(0)\} = \hat{g}_0 \in \hat{\mathbf{G}}_0$ ) игрока  $E$  формируется из  $\tau$ -позиции  $g(\tau)$  игрока  $P$  и определяет реализацию в момент времени  $\tau$  состояния всех объектов  $\Pi_i$ ,  $i \in \overline{1, n}$  на уровне управления  $\Pi$  динамической системы (2.44) – (2.51), а множество  $V^{(e)}(\tau, \bar{T}; \hat{g}(\tau), u(\cdot)) = \{v^{(e)}(\cdot)\} = \{v^{(e)}(\cdot)\} = \{v^{(1,e)}(\cdot), v^{(2,e)}(\cdot), \dots, v^{(n,e)}(\cdot)\} \subseteq V(\tau, \bar{T}; u(\cdot))$  минимаксных терминальных программных управлений игрока  $E$  для уровня управления  $\Pi$  рассматриваемой динамической системы (2.44) – (2.51) для любых реализаций  $\tau$ -позиции  $\hat{g}(\tau) \in \hat{\mathbf{G}}(\tau)$  ( $\hat{g}(0) = \hat{g}_0 \in \hat{\mathbf{G}}_0$ ) игрока  $E$  и программного управления  $u(\cdot) \in U(\tau, \bar{T})$  игрока  $P$  находится из решения задач 2.7 для всех значений параметра  $i \in \overline{1, n}$ .

Множество  $U^{(e)}(\tau, \bar{T}; g(\tau)) \subseteq U(\tau, \bar{T})$ , которое формируется из решения задачи 2.8, будем называть множеством *минимаксных терминальных программных управлений игрока  $P$  для уровня управления  $I$  динамической системы (2.44) – (2.51)*, а соответствующее ему число  $c_\alpha^{(e)}(\tau, \bar{T}; g(\tau))$  – *значением результата минимаксного программного управления для игрока  $P$  на уровне управления  $I$  этой системы*. Причем множество  $U^{(e)}(\tau, \bar{T}; g(\tau))$  и число  $c^{(e)}(\tau, \bar{T}; g(\tau))$  соответствуют

фиксированным и допустимым промежутку времени  $\overline{\tau, T}$  и  $\tau$ -позиции  $g(\tau) \in \mathbf{G}(\tau)$  ( $g(0) = g_0 \in \mathbf{G}_0$ ) игрока  $P$  на уровне управления  $I$ .

Следует отметить, что решение задачи 2.8 определяет на промежутке времени  $\overline{\tau, T}$  принцип формирования минимаксных терминальных программных управлений  $u^{(e)}(\cdot) \in U^{(e)}(\overline{\tau, T}; g(\tau)) \subseteq U(\overline{\tau, T})$  игроком  $P$  на уровне управления  $I$ , отвечающих реализации его  $\tau$ -позиции  $g(\tau) \in \mathbf{G}(\tau)$  ( $g(0) = g_0 \in \mathbf{G}_0$ ).

Отметим также, что, учитывая конечность множества допустимых программных управлений  $U(\overline{\tau, T})$  игрока  $P$  и множества  $u^{(e)}(\cdot) \in U^{(e)}(\overline{\tau, T}; g(\tau)) \subseteq U(\overline{\tau, T})$  минимаксных терминальных программных управлений игрока  $E$  для уровня управления  $II$  рассматриваемой динамической системы (2.44) – (2.51), многогранные свойства множеств допустимых программных рисков  $W(\overline{\tau, T}; u(\cdot))$  и  $\hat{W}(\overline{\tau, T}; u(\cdot))$  соответственно игроков  $P$  и  $E$ , соответствующих фиксированному программному управлению  $u(\cdot) \in U(\overline{\tau, T})$ , и соотношения (2.57) – (2.66), можно показать [11, 13, 14], что решение задачи 2.8 существует и сводится к реализации конечной рекуррентной последовательности решений задач линейного и выпуклого математического программирования, а также конечного числа задач дискретной оптимизации.

На основании сформулированных выше задач 2.7 и 2.8 рассмотрим следующую задачу.

**Задача 2.9.** Для фиксированных промежутка времени  $\overline{\tau, T} \subseteq \overline{0, T}$  ( $\tau < T$ ), допустимой на уровне управления  $I$  двухуровневой иерархической динамической системы (2.44) – (2.51) реализации  $\tau$ -позиции  $g(\tau) = \{\tau, y(\tau), z^{(1)}(\tau), z^{(2)}(\tau), \dots, z^{(n)}(\tau)\} \in \mathbf{G}(\tau)$  ( $g(0) = \{0, y(0), z^{(1)}(0), z^{(2)}(0), \dots, z^{(n)}(0)\} = g_0 \in \mathbf{G}_0$ ) игрока  $P$ , допустимой на уровне управления  $II$  этой системы реализации  $\tau$ -позиции  $\hat{g}(\tau) = \{\tau, z^{(1)}(\tau), z^{(2)}(\tau), \dots, z^{(n)}(\tau)\} \in \hat{\mathbf{G}}(\tau)$  ( $\hat{g}(0) = \{0, z^{(1)}(0), z^{(2)}(0), \dots, z^{(n)}(0)\} = \hat{g}_0 \in \hat{\mathbf{G}}_0$ ) игрока  $E$ , сформированной из  $\tau$ -позиции  $g(\tau)$ , и допустимой реализации минимаксного программного управления  $u^{(e)}(\cdot) \in U^{(e)}(\overline{\tau, T}; g(\tau))$  игрока  $P$  на уровне управления  $I$ , которое можно сформировать из решения задачи 2.8, требуется найти множество

$V^{(e)}(\overline{\tau, T}; \hat{g}(\tau), u^{(e)}(\cdot)) \subseteq V^{(e)}(\overline{\tau, T}; \hat{g}(\tau), u^{(e)}(\cdot)) \subseteq V(\overline{\tau, T}; u^{(e)}(\cdot))$  минимаксных терминальных программных управлений  $\{\hat{v}^{(e)}(\cdot)\} = \{\hat{v}^{(1,e)}(\cdot), \hat{v}^{(2,e)}(\cdot), \dots, \hat{v}^{(n,e)}(\cdot)\} \in V^{(e)}(\overline{\tau, T}; \hat{g}(\tau), u^{(e)}(\cdot))$  игрока  $E$  для уровня управления  $\Pi$  и вектор  $= (c_{\hat{\beta}^{(1)}}^{(e)}(\overline{\tau, T}; g^{(1)}(\tau), u^{(e)}(\cdot)), c_{\hat{\beta}^{(2)}}^{(e)}(\overline{\tau, T}; g^{(2)}(\tau), u^{(e)}(\cdot)), \dots, c_{\hat{\beta}^{(n)}}^{(e)}(\overline{\tau, T}; g^{(n)}(\tau), u^{(e)}(\cdot)))' \in \mathbf{E}^n$  – значение результата минимаксного программного управления для игрока  $E$  на уровне управления  $\Pi$  данной системы, соответствующие управлению  $u^{(e)}(\cdot)$  игрока  $P$ , которые в соответствии с (2.65) и (2.66) определяются соотношениями:

$$V^{(e)}(\overline{\tau, T}; \hat{g}(\tau), u^{(e)}(\cdot)) = \{\hat{v}^{(e)}(\cdot)\} : \hat{v}^{(e)}(\cdot) \in V^{(e)}(\overline{\tau, T}; \hat{g}(\tau), u^{(e)}(\cdot)),$$

$$\begin{aligned} c_{\alpha}^{(e)}(\overline{\tau, T}; g(\tau)) &= \max_{w(\cdot) \in W(\overline{\tau, T}; u^{(e)}(\cdot))} \alpha(g(\tau), u^{(e)}(\cdot), \hat{v}^{(e)}(\cdot), w(\cdot), \hat{w}(\cdot)) = \\ &= \min_{v^{(e)}(\cdot) \in V^{(e)}(\overline{\tau, T}; \hat{g}(\tau), u^{(e)}(\cdot))} \max_{\substack{w(\cdot) \in W(\overline{\tau, T}; u^{(e)}(\cdot)) \\ \hat{w}(\cdot) \in \hat{W}(\overline{\tau, T}; u^{(e)}(\cdot))}} \alpha(g(\tau), u^{(e)}(\cdot), v^{(e)}(\cdot), w(\cdot), \hat{w}(\cdot)) \}; \quad (2.67) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} i \in \overline{1, n} : c_{\hat{\beta}^{(i)}}^{(e)}(\overline{\tau, T}; g^{(i)}(\tau), u^{(e)}(\cdot)) &= \\ &= \max_{w^{(i)}(\cdot) \in W^{(i)}(\overline{\tau, T}; u^{(e)}(\cdot))} \hat{\beta}^{(i)}(g^{(i)}(\tau), u^{(e)}(\cdot), v^{(i,e)}(\cdot), w^{(i)}(\cdot)) = \\ &= \min_{v^{(i)}(\cdot) \in V^{(i)}(\overline{\tau, T}; u^{(e)}(\cdot))} \max_{w^{(i)}(\cdot) \in W^{(i)}(\overline{\tau, T}; u^{(e)}(\cdot))} \hat{\beta}^{(i)}(g^{(i)}(\tau), u^{(e)}(\cdot), v^{(i)}(\cdot), w^{(i)}(\cdot)). \quad (2.68) \end{aligned}$$

Здесь функционал  $\alpha$  определен соотношениями (2.57) – (2.59); для каждого индекса  $i \in \overline{1, n}$  функционал  $\hat{\beta}^{(i)}$  определен соотношениями (2.60), (2.61);  $\tau$ -позиция  $\hat{g}(\tau) = \{\tau, z^{(1)}(\tau), z^{(2)}(\tau), \dots, z^{(n)}(\tau)\} \in \hat{G}(\tau)$   $\hat{g}(0) = \{0, z^{(1)}(0), z^{(2)}(0), \dots, z^{(n)}(0)\} = \hat{g}_0 \in \hat{G}_0$  игрока  $E$  формируется из  $\tau$ -позиции  $g(\tau)$  игрока  $P$  и определяет в момент времени  $\tau$  реализацию состояния всех объектов  $\Pi_i$ ,  $i \in \overline{1, n}$  на

уровне управления  $II$  динамической системы (2.44) – (2.51), а множество  $\overline{V^{(e)}}(\tau, \overline{T}; \hat{g}(\tau), u^{(e)}(\cdot)) = \{\hat{v}^{(e)}(\cdot)\} = \{\hat{v}^{(1,e)}(\cdot), \hat{v}^{(2,e)}(\cdot), \dots, \hat{v}^{(n,e)}(\cdot)\} \in \overline{V^{(e)}}(\tau, \overline{T}; \hat{g}(\tau), u^{(e)}(\cdot))$  минимаксных терминальных программных управлений игрока  $E$  для уровня управления  $II$  рассматриваемой системы (2.44) – (2.51) для любых фиксированных и допустимых промежутка времени  $\overline{\tau, T} \subseteq \overline{0, T}$  ( $\tau < T$ ), реализаций  $\tau$ -позиции  $\hat{g}(\tau) \in \hat{G}(\tau)$  ( $\hat{g}(0) = \hat{g}_0 \in \hat{G}_0$ ) игрока  $E$  на уровне управления  $II$  и минимаксного программного управления  $u^{(e)}(\cdot) \in \overline{U^{(e)}}(\tau, \overline{T}; g(\tau))$  игрока  $P$  на уровне управления  $I$  находится из решения п задач 2.7, соответствующих значениям индекса  $i \in \overline{1, n}$ .

Учитывая, что решение этой задачи основывается на решениях задач 2.7 и 2.8, можно сделать вывод, что *решение задачи 2.9 существует и также сводится к реализации конечной последовательности решений задач линейного и выпуклого математического программирования, а также конечного числа задач дискретной оптимизации.*

### **Общая схема решения задачи двухуровневого иерархического минимаксного программного управления социально-экономическим состоянием региона**

Таким образом, для любых допустимых и фиксированных промежутка времени  $\overline{\tau, T} \subseteq \overline{0, T}$  ( $\tau < T$ ), допустимой на уровне управления  $I$  двухуровневой иерархической динамической системы (2.44) – (2.51) реализации  $\tau$ -позиции  $(\cdot) = \{\tau, y(\tau), z^{(1)}(\tau), z^{(2)}(\tau), \dots, z^{(n)}(\tau)\} \in \overline{G}(\tau)$  ( $g(0) = \{0, y(0), z^{(1)}(0), z^{(2)}(0), \dots, z^{(n)}(0)\} = g_0 \in G_0$  игрока  $P$ , допустимой на уровне управления  $II$  рассматриваемой динамической системы (2.44) – (2.51), реализации  $\tau$ -позиции  $\hat{g}(\tau) = \{\tau, z^{(1)}(\tau), z^{(2)}(\tau), \dots, z^{(n)}(\tau)\} \in \hat{G}(\tau)$  ( $\hat{g}(0) = \{0, z^{(1)}(0), z^{(2)}(0), \dots, z^{(n)}(0)\} = \hat{g}_0 \in \hat{G}_0$ ) игрока  $E$  на уровне управления  $II$  данной системы, сформированной из  $\tau$ -позиции  $g(\tau)$ , можно рассмотреть решения сформулированных задач 2.7–2.9, которые в совокупности *определяют задачу двухуровневого иерархического минимаксного терминального программного управления благосостоянием региона.*

Тогда общую схему реализации процесса двухуровневого минимаксного терминального программного управления благосостоянием региона можно представить в виде реализации следующей последовательности действий:

1) для любых фиксированных управления  $u(\cdot) \in U(\tau, \overline{T})$  игрока  $P$  на уровне управления  $I$  и индекса  $i \in \overline{1, n}$  из решения соответствующей задачи 2.7 формируются множество  $V^{(i,e)}(\tau, \overline{T}; g^{(i)}(\tau), u(\cdot))$  минимаксных терминальных программных управлений игрока  $E_i$  и число  $c_{\beta^{(i)}}^{(e)}(\tau, \overline{T}; g^{(i)}(\tau), u(\cdot))$  – значение результата минимаксного терминального программного управления для этого игрока на уровне управления  $II$ , соответствующее управлению  $u(\cdot)$ , которые удовлетворяют соотношению (2.65); на основании этих элементов, из решения  $n$  задач 2.7 для всех значений индекса  $i \in \overline{1, n}$ , формируются множества  $V^{(i,e)}(\tau, \overline{T}; g^{(i)}(\tau), u(\cdot)) \subseteq V^{(i)}(\tau, \overline{T}; u(\cdot))$  минимаксных терминальных программных управлений  $v^{(i,e)}(\cdot) \in V^{(i)}(\tau, \overline{T}; u(\cdot))$  игроков  $E_i$  на уровне управления  $II$  и вектор  $c_{\beta}^{(e)}(\tau, \overline{T}; \hat{g}(\tau), u(\cdot)) = (c_{\beta^{(1)}}^{(e)}(\tau, \overline{T}; g^{(1)}(\tau), u(\cdot)), c_{\beta^{(2)}}^{(e)}(\tau, \overline{T}; g^{(2)}(\tau), u(\cdot)), \dots, c_{\beta^{(n)}}^{(e)}(\tau, \overline{T}; g^{(n)}(\tau), u(\cdot))) \in \mathbf{E}^n$  – значение результата минимаксного терминального программного управления для игрока  $E$  на уровне управления  $II$  этой системы, соответствующих управлению  $u(\cdot)$  игрока  $P$  на уровне управления  $II$ ;

2) из решения задачи 2.8 формируются множество  $U^{(e)}(\tau, \overline{T}; g(\tau))$  минимаксных терминальных программных управлений  $u^{(e)}(\cdot) \in U(\tau, \overline{T})$  игрока  $P$  на уровне управления  $I$  и число  $c_{\alpha}^{(e)}(\tau, \overline{T}; g(\tau))$  – значение результата минимаксного терминального программного управления для игрока  $P$  на уровне управления  $I$  этой системы, удовлетворяющие соотношению (2.66);

3) для любого допустимого минимаксного терминального программного управления  $u^{(e)}(\cdot) \in U^{(e)}(\tau, \overline{T}; g(\tau))$  игрока  $P$  на уровне управления  $I$ , которое можно сформировать из решения задачи 2.8, из решения задачи 2.9 формируются множество  $V^{(e)}(\tau, \overline{T}; \hat{g}(\tau), u^{(e)}(\cdot)) \subseteq V^{(e)}(\tau, \overline{T}; \hat{g}(\tau), u^{(e)}(\cdot)) \subseteq V(\tau, \overline{T}; u^{(e)}(\cdot))$  минимаксных терминальных программных управлений  $\{\hat{v}^{(e)}(\cdot)\} = \{\hat{v}^{(1,e)}(\cdot),$

$\hat{v}^{(2,e)}(\cdot), \dots, \hat{v}^{(n,e)}(\cdot) \in V^{(e)}(\overline{\tau, T}; \hat{g}(\tau), u^{(e)}(\cdot))$  игрока  $E$  для уровня управления  $II$  и вектор  $c_{\hat{\beta}}^{(e)}(\overline{\tau, T}; \hat{g}(\tau), u^{(e)}(\cdot)) = (c_{\hat{\beta}^{(1)}}^{(e)}(\overline{\tau, T}; g^{(1)}(\tau), u^{(e)}(\cdot)), c_{\hat{\beta}^{(2)}}^{(e)}(\overline{\tau, T}; g^{(2)}(\tau), u^{(e)}(\cdot)), \dots, c_{\hat{\beta}^{(n)}}^{(e)}(\overline{\tau, T}; g^{(n)}(\tau), u^{(e)}(\cdot)))' \in \mathbf{E}^n$  – значение результата минимаксного терминального программного управления для игрока  $E$  на уровне управления  $II$  данной системы, соответствующие управлению  $u^{(e)}(\cdot)$  игрока  $P$  и удовлетворяющие соотношениям (2.67), (2.68), такие, что для каждого фиксированного индекса  $i \in \overline{1, n}$  образующие их элементы  $\hat{v}^{(i,e)}(\cdot)$  и  $c_{\hat{\beta}^{(i)}}^{(e)}(\overline{\tau, T}; g^{(i)}(\tau), u^{(e)}(\cdot))$  совместно с управлением  $u^{(e)}(\cdot)$  игрока  $P$  удовлетворяют и соотношению (2.65).

Для исследуемой в данном разделе задачи минимаксного управления региональными социально-экономическими системами, включающих в себя системы здравоохранения, образования, инновационной деятельности и др., при наличии информационной неопределенности и рисков предлагается математическая формализация в форме решения многошаговой задачи двухуровневого иерархического минимаксного терминального программного управления в дискретной динамической системе (2.44) – (2.51), и предложена общая схема ее решения.

Отметим, что важной особенностью предлагаемого метода минимаксного управления региональными социально-экономическими системами, включающих в себя системы здравоохранения, образования, инновационной деятельности и др., при наличии информационной неопределенности и рисков, является то, что его реализация позволяет сочетать интересы как региона в целом, так и образующих его муниципалитетов.

Полученные в данной главе результаты основываются на исследованиях [1, 2, 9–15, 17–30] и могут быть использованы при компьютерном моделировании и создании многоуровневых систем управления для сложных региональных социально-экономических систем, включающих в себя системы здравоохранения, образования, инновационной деятельности и др., при наличии информационной неопределенности и рисков. Математические модели таких систем представлены, например, в работах [1–26].



**Список библиографических ссылок**

1. *Шорилов А. Ф.* Методология экономико-математического моделирования многоуровневых иерархических динамических систем, функционирующих в условиях неопределенности // Изв. Урал. гос. экон. ун-та. 2005. № 12. С. 123–130.
2. *Шорилов А. Ф.* Методология моделирования многоуровневых систем: иерархия и динамика // Прикладная информатика. Научно-практический журнал. 2006. № 1. С. 136–141.
3. *Горелик В. А., Кононенко А. Ф.* Теоретико-игровые модели принятия решений в эколого-экономических системах. М. : Радио и связь, 1982. 144 с.
4. *Красовский Н. Н.* Теория управления движением. М. : Наука, 1968, 476 с.
5. *Красовский Н. Н., Субботин А. И.* Позиционные дифференциальные игры. М. : Наука, 1974, 456 с.
6. *Куржанский А. Б.* Управление и наблюдение в условиях неопределенности. М. : Наука, 1977. 392 с.
7. *Максимов В. И., Никонов О. И.* Моделирование риска и рискованных ситуаций : учеб. пособие. Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. 82 с.
8. *Никонов О. И., Тимофеева Г. А.* Методы теории гарантированного управления в задаче динамической реструктуризации инвестиционного портфеля // Тр. ИММ УрО РАН, 2000. Т. 6, № 2. С. 460–476.
9. *Тюлюкин В. А., Шорилов А. Ф.* Алгоритм решения задачи терминального управления для линейной дискретной системы // Автоматика и телемеханика. 1993. № 4. С. 115–127.
10. *Шорилов А. Ф.* Двухуровневое минимаксное управление в нелинейной многошаговой системе // Тезисы докладов V Всесоюз. конф. по оптимальному управлению в механических системах. Казань : Изд-во КАИ, 1985. С. 62.
11. *Шорилов А. Ф.* Минимаксное оценивание и управление в дискретных динамических системах. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 1997. 242 с.
12. *Шорилов А. Ф.* Адаптивное минимаксное управление процессом преследования в дискретных динамических системах с несколькими преследователями // Тр. Ин-та математики и механики УрО РАН. 2005. Т. 11, № 1. С. 225–240.

13. *Шориков А. Ф.* Алгоритм решения задачи  $\varepsilon$ -оптимального программного терминального управления для дискретной динамической системы // Теория управления и теория обобщенных решений уравнения Гамильтона-Якоби // тр. Междунар. семинара, посв. 60-летию акад. А. И. Субботина : в 2 т. Екатеринбург : Изд-во Урал. гос. ун-та, Т. 2. С. 190–196.
14. *Шориков А. Ф.* Алгоритм решения задачи оптимального терминального управления в линейных дискретных динамических системах // Информационные технологии в экономике: теория, модели и методы : сб. науч. тр. Екатеринбург : Изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 2005. С. 119–138.
15. *Шориков А. Ф.* Минимаксное программное терминальное управление в двухуровневой иерархической нелинейной дискретной динамической системе // Итоги науки и техники. Современная математика и ее приложения. Тематические обзоры. 2017. Т. 132. С. 154–157.
16. *Шориков А. Ф., Тюлюкин В. А.* Программный модуль вычисления вершин выпуклого, замкнутого и ограниченного многогранника в конечномерном векторном пространстве, заданного системой линейных алгебраических неравенств, и наоборот // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2014662100: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Заявка № 2014660104. Дата поступления 02.10.2014 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 24.11.2014 г.
17. *Шориков А. Ф., Тюлюкин В. А.* Программный модуль для решения задачи идентификации параметров линейной дискретной динамической системы в конечномерном векторном пространстве // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2016619757: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Заявка № 2016617134. Дата поступления 04.08.2016 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 29.09.2016 г.
18. *Nikonov O. I.* Financial decisions via methods of guaranteed control theory // Pliska. Stud. math. Bulgar. 1998. Vol. 12. P. 133–140.
19. *Siciliano B., Villari L.* Robot Force Control. Kluwer Academic Publishers, 1999, Dordrecht.
20. *Shorikov A. F.* Minimax Approach Problem with Incomplete Information for the Hierarchical Discrete-Time Dynamical System // XXI International Conference: Dynamical System Modeling and Stability Investigation. Abstracts of Conference Reports. Taras Shevchenko National University of Kiev, Ukraine, Kiev. 2013. P. 164.

21. *Shorikov A. F.* Minimax program control for the approach process in a two-level hierarchical discrete dynamical system // Automation and Remote Control. 2014. Vol. 75, № 3. P. 458–469.

22. *Shorikov A. F.* Two-Level Hierarchical Minimax Program Control Problem of the Process of Terminal Approach with Incomplete Information for the Discrete-Time Dynamical System // 6<sup>th</sup> International Conf. on Physics and Control (PhysCon 2013). Sun Luis Potosi, Mexico. 26-29 August. 2013. Saint-Petersburg : IPACS Electronic library, 2013. P. 1–9.

23. *Shorikov A. F.* Minimax terminal approach problem in two-level hierarchical nonlinear discrete-time dynamical system. American Institute of Physics // Conference Proceeding. 2015. P. 040003. 1–9. DOI: 10.1063/1.4936710. <http://dx.doi.org/10.1063/1.4936710>.

24. *Shorikov A. F.* Problem of two-level hierarchical minimax program control the final state of regional social and economic system in the presence of risks. American Institute of Physics // Conference Proceeding. 2015. P. 020002. 1–9. DOI: 10.1063/1.4936680 <http://dx.doi.org/10.1063/1.4936680>.

25. *Shorikov A. F.* Minimax approach problem with incomplete information for the two-level hierarchical discrete-time dynamical system // Applications of Mathematics in Engineering and Economics (AMEE'14). American Institute of Physics. Conference Proceedings. 1631. 2014. P. 188–196. DOI: 10.1063/1.4902476.

26. *Shorikov A. F.* Minimax Approach Problem with Incomplete Information for Two-Level Hierarchical Nonlinear Discrete-Time Dynamical System // 7<sup>th</sup> International Conf. on Physics and Control (PhysCon 2015). Istanbul, Turkish. 19–22 August, 2015. Saint-Petersburg : IPACS Electronic Library, 2015. P. 1–9.

27. *Шориков А. Ф., Бабенко В. А.* Оптимизация гарантированного результата в динамической модели управления инновационным процессом на предприятии // Экономика региона. Науч. информ.-аналит. экон. журнал РАН. 2014. № 1. С. 196–202.

28. *Шориков А. Ф., Рассадина Е. С.* Динамическая оптимизация комплексного программного управления структурой товарного ассортимента предприятия // Экономика региона. Науч. информ.-аналит. экон. журнал. 2012. № 3 (31). С. 261–271.

29. *Шориков А. Ф., Рассадина Е. С.* Динамическая оптимизация комплексного адаптивного управления структурой товарного ассортимента предприятия // Экономика региона. Научн. информ.-аналит. экон. журнал РАН. 2013. № 2 (34). С. 176–184.

30. *Шориков А. Ф., Буценко Е. В.* Экспертная система инвестиционного проектирования // Прикладная информатика. Науч.-практ. журнал. 2013. № 5 (47). С. 96–103.

31. *Шориков А. Ф., Рассадина Е. С.* Программный модуль построения прогнозного множества состояний дискретной линейной динамической системы // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2015610794: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Заявка № 2014662208. Дата поступления 28.11.2014 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 19.01.2015 г.

32. *Шориков А. Ф., Рассадина Е. С.* Программный модуль адаптивного терминального управления состоянием линейной дискретной динамической системы // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2015663155: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Заявка № 1015660168. Дата поступления 27.10.2015 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 11.12.2015 г.

33. *Шориков А. Ф., Тюлюкин В. А.* Описание библиотеки компьютерных программ для моделирования решения задачи апостериорного минимаксного оценивания // Изв. Урал. гос. экон. ун-та. 1999. № 2. С. 36–49.

34. *Альбрехт Э. Г.* О динамических моделях макроэкономики // Информационные технологии в экономике: теория, модели и методы : сб. науч. тр. Екатеринбург : Изд-во УрГЭУ, 2005. С. 3–17.

35. *Альбрехт Э. Г.* Об идентификации математических моделей нелинейных процессов // Вестн. Чел. гос. ун-та. Сер. 3. Математика, механика, информатика. 2003. № 2. С. 13–26.

36. *Лотов А. В.* Введение в экономико-математическое моделирование. М. : Наука, 1984. 308 с.

37. *Месарович М., Мако Д., Такахара И.* Теория иерархических многоуровневых систем. М. : Мир, 1973. 344 с.

38. *Первозванский А. А.* Математические модели в управлении производством. М. : Наука, 1975. 615 с.

39. *Подиновский В. В., Ногин В. Д.* Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М. : Наука, 1982. 256 с.

40. *Пропой А. И.* Элементы теории оптимальных дискретных процессов. М. : Наука, 1973. 355 с.

41. *Тер-Крикоров А. М.* Оптимальное управление и математическая экономика. М. : Наука, 1977. 216 с.
42. *Шорилов А. Ф., Тюлюкин В. А.* Программный модуль вычисления минимаксных оценок выпуклого, замкнутого и ограниченного многогранника в конечномерном векторном пространстве // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2016615514: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Заявка № 2016612875. Дата поступления 01.04.2016 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 26.05.2016 г.
43. *Shorikov A. F.* Algorithm for solving of two-level hierarchical minimax program control problem in discrete-time dynamical system with incomplete information // The 42<sup>nd</sup> Conference: «Applications of Mathematics in Engineering and Economics (AMEE'16)». American Institute of Physics. Conference Proceeding. 2016. Vol. 1789. P. 060011-1-10. DOI: 10.1063/1.4968503.
44. *Shorikov A. F.* Problem of two-level hierarchical minimax program control the final state of regional social and economic system with incomplete information // The 42<sup>nd</sup> Conference: «Applications of Mathematics in Engineering and Economics (AMEE'16)». American Institute of Physics. Conference Proceeding. 2016. Vol. 1789. P. 060012-1-9. DOI: 10.1063/1.4968504.
45. *Рокафеллар Р.* Выпуклый анализ. М. : Мир, 1973. 472 с.
46. *Базара М., Шетти К.* Нелинейное программирование. Теория и алгоритмы. М. : Мир, 1982. 583 с.

## Глава 3

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА МАКРО- И МЕЗОУРОВНЕ

### §1. Анализ инновационной системы на мезо- и макроуровне в условиях турбулентности внешней и внутренней среды

Понятие инновационной системы является частным по отношению к общему понятию системы. Поэтому дадим вначале определение общему понятию системы, а затем определим, какие системы относят к классу инновационных на макро- и мезоуровне.

До настоящего момента согласия в определении понятия «система» нет, а наоборот, наблюдается расхождение мнений [1–3]. Все многообразие подходов к определению понятия «система» можно разделить на пять групп [4–6]:

- система – выбираемая исследователем любая совокупность переменных свойств или сущностей [7];
- система – целенаправленная активность [8];
- система – множество элементов, связанных между собой [9];
- система – комплекс элементов, находящихся во взаимодействии [8];
- система – объект, обладающий определенными признаками, например целостность; наличие двух и более типов связей; наличие уровней и иерархии уровней, а также управления, цели, процессов самоорганизации, функционирования и развития [7].

Для более точной формулировки понятия «система» необходимо разработать основные свойства, которые могут дать характеристику данному определению. Термин «система» должен отражать морфологическое, функциональное и информационное единство доступных изучению объектов, процессов и явлений, а также единство законов их движения. Кроме того, этот термин должен быть универсальным, отражать всеобщность системных свойств и закономерностей.

В науке существует четыре основных свойства, которыми должен обладать объект, чтобы его можно было считать системой [10–12]:

- целостность и членимость;
- связь;
- интегративные качества;
- организация.

Дадим характеристику каждому свойству системы.

*Целостность и членимость.* Система – целостная совокупность элементов, взаимодействующих друг с другом. Элемент – часть системы, условно не расчленяемая на составные части. Следует иметь в виду, что элементы существуют лишь в системе. Вне системы это лишь объекты, обладающие потенциальной способностью образования системы. Элементы системы могут быть разнокачественными, но одновременно совместимыми.

*Связь.* Между элементами системы имеются существенные связи, которые с закономерной необходимостью определяют интегративные качества этой системы. Связи могут быть вещественные, информационные, прямые, обратные. При этом связи между элементами внутри системы должны быть более мощными, чем связи отдельных элементов с внешней средой, так как в противном случае система не сможет существовать.

*Интегративные качества.* Это такие качества, которые присущи системе в целом, но не свойственны ни одному из ее элементов в отдельности.

*Организация.* Наличие системообразующих факторов у элементов системы лишь предполагает возможность ее создания. Для появления системы необходимо сформировать упорядоченные связи, то есть определенную структуру, организацию системы.

Следует также отметить, что в данном разделе особый интерес представляют инновационные системы на макро- и мезоуровне. Понятие инновационной системы является частным по отношению к общему понятию системы, а следовательно, ей присущи все четыре вышеназванных свойства.

В настоящее время можно выделить несколько подходов к понятию «региональная инновационная система» или «инновационная система на мезоуровне». Первый подход основан на эволюционных теориях экономического и технического прогресса и определяет инновации как эволюционный и социальный процесс [13]. Второй подход описывает региональную систему, подчеркивая роль институциональной среды, в которой появляются инновации. С региональной точки зрения выгодно территориально ограничивать развитие инноваций [14]. Тогда под инновационной системой на мезоуровне понимается целостная совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих предприятий и институтов и отношений по поводу трансфера технологий в сфере инновационной деятельности, начинающейся с научных исследований, направленных на получение новых научных знаний, необходимых для создания инноваций, а также инновационной инфраструктурой, которая позволяет усиливать взаимодействие и способствует долгосрочному устойчивому развитию региона.

Концепция национальных инновационных систем (инновационных систем на макроуровне) активно разрабатывается в мире начиная с 1990-х гг. и опирается на следующие подходы в экономической теории [15]:

- теория роста, согласно которой инвестиции в НИОКР или человеческий капитал являются необходимым, но недостаточным условием технологического развития и быстрого экономического роста;
- эволюционная теория, рассматривающая закономерности и историческую преемственность в технологической динамике;
- неоинституциональная теория, анализирующая вопросы, связанные с развитием и координацией институтов, взаимосвязями между рыночными и нерыночными институтами, институциональной динамикой.

Тогда под инновационной системой на макроуровне понимается целостная совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих предприятий и институтов, осуществляющих производство и коммерциализацию научных знаний и технологий в пределах национальных границ, а также инновационной инфраструктурой, которая позволяет усиливать взаимодействие и способствует долгосрочному устойчивому развитию страны в целом.

Подчеркнем, что одной из первостепенных задач государственной социально-экономической политики России согласно «Стратегии инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года» является инновационное развитие. Приведем перечень основных современных документов, в которых зафиксирована цель перехода на инновационный путь развития:

- Указ Президента РФ от 18.06.2012 № 878 (ред. от 27.07.2013) «О Совете при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России»;
- Постановление Правительства РФ от 15.04.2014 № 316 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Экономическое развитие и инновационная экономика»;
- Постановление Правительства РФ от 09.04.2010 № 219 (ред. от 03.06.2011) «О государственной поддержке развития инновационной инфраструктуры в федеральных образовательных учреждениях высшего профессионального образования»;
- Постановление Правительства РФ от 15.04.2014 № 328 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» и др.

На современном этапе инновационная политика направлена на стимулирование развития предприятий, отраслей, регионов. Ожидается, что



инновации могут оказать кумулятивное воздействие на рост основных макроэкономических показателей России, обеспечить увеличение предложения отечественных товаров и услуг, диверсификацию производств, быструю модернизацию основных средств и решение социальных проблем общества. Данная политика должна способствовать капитализации сравнительных конкурентных преимуществ российской экономики.

В последние годы государство активно реализовывало меры, направленные на развитие национальной инновационной системы России. Функционируют государственные институты развития, стимулирующие инновационные процессы и развитие инфраструктуры с использованием механизмов государственно-частного партнерства. Такие институты выступают в качестве катализатора частных инвестиций в приоритетных секторах и отраслях экономики и создают условия для формирования инфраструктуры, обеспечивающей доступ предприятиям к необходимым финансовым и информационным ресурсам. Здесь можно привести следующие примеры:

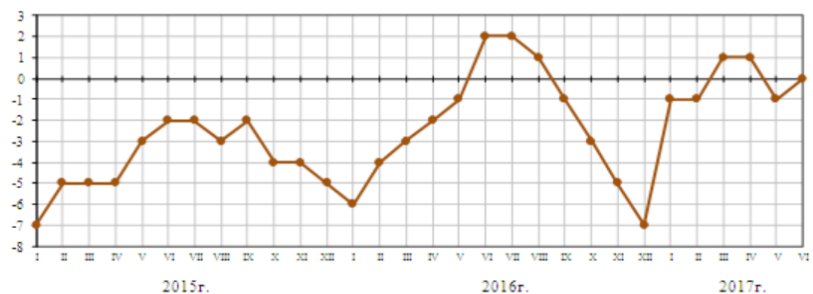
- Агентство стратегических инициатив;
- ОАО «РВК»;
- ОАО «РОСНАНО»;
- Рынок инноваций и инвестиций Московской биржи;
- Федеральное государственное автономное учреждение «Российский фонд технологического развития»;
- Фонд инфраструктурных и образовательных программ;
- Фонд развития Центра разработки и коммерциализации новых технологий (СКОЛКОВО);
- Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.

Кроме создания государственных институтов развития, были внесены изменения в Налоговый кодекс РФ, направленные на сокращение налогового бремени инновационно-активных организаций. Среди них можно назвать основные:

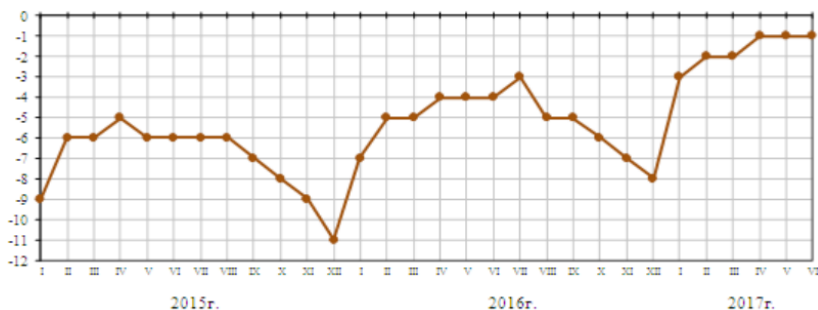
- снижение тарифов страховых взносов на обязательное пенсионное, медицинское и социальное страхование;
- совершенствование амортизационной политики;
- меры налоговой поддержки плательщиков налога на доходы физических лиц.

Отметим также, что с 2008 г. вступила в силу часть 4 ГК РФ, устанавливающая правовые основы гражданского оборота интеллектуальной

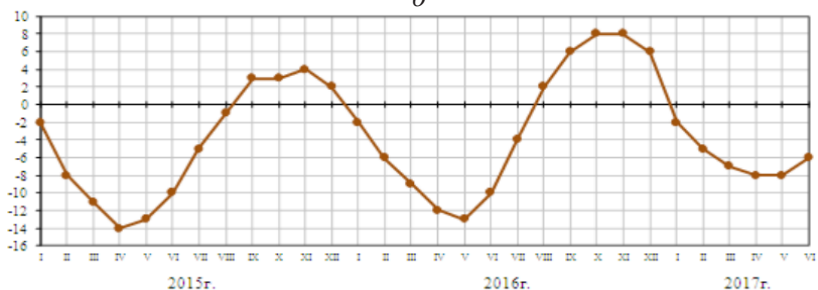
собственности. В конце 2014 г. только одна база ключевых официальных нормативно-правовых актов в инновационной сфере РФ уже содержала порядка семидесяти документов.



*a*



*б*



*в*

Рис. 3.1. Индекс предпринимательской уверенности организаций:  
*a* – по добыче полезных ископаемых; *б* – обрабатывающих производств;  
*в* – по обеспечению электрической энергией, газом и паром;  
 кондиционированию воздуха (без малых предприятий)

Однако пока нельзя говорить о результативности функционирования сформированной национальной инновационной системы. В условиях турбулентности внешней и внутренней среды наблюдается слабая инновационная активность субъектов предпринимательства. По данным Федеральной службы государственной статистики России за 2015–2017 гг., индекс предпринимательской уверенности организаций различных секторов экономики имеет отрицательное значение (рис. 3.1).

В таких условиях доля промышленных предприятий, осуществляющих разработку и внедрение технологических инноваций, не превышает 10 %, доля инновационной продукции в общем объеме продукции промышленного производства составляет всего 5,5 %.

Построениями экономических моделей в условиях неопределенности с использованием теории игр, теории вероятностей занимались следующие ученые: К. Х. Борч; М. Маринаки; М. Абделауи, А. Бэйлон, Л. Плакидо, П. П. Уоккер; И. Джилбоа; Ли Йа, Ли Йо, У. Зао и другие.

Исследованию теоретических аспектов к анализу институциональных факторов в развитии инноваций посвящены работы О. Строевой, И. Р. Лапиной, Е. Е. Конобеевой, О. Е. Конобеевой; В. Ву, К. Чена; П. Здразила, И. Крафцовой, З. Мэтью; М. Зиеба, К. Зиеба; М. Родригеса и других.

Интересные подходы к использованию логистических методов представлены в работах Н. М. Алшарари; Д. Аскарани. Практический опыт использования логистической технологии «бережливое производство» отражен в работах Я. Сахо, Е. Шевченко, Т. Карауловой; С. Брауэра; А. Паулрэя; М. Холвега; С. Сакакибары и др.

В то же время специфика теоретических принципов и методического инструментария управления инновационными системами разного уровня в условиях турбулентности внешней и внутренней среды не раскрыта. Отметим также, что методические вопросы оценки инновационной привлекательности недостаточно проработаны, что замедляет процесс массового использования принципов и приемов управленческого анализа для повышения оперативности и качества принимаемых решений в инновационном сегменте процесса воспроизводства.

Анализ развития инновационной деятельности в экономических системах разного уровня позволил систематизировать накопленный опыт в мировой практике. На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы.

Успешное развитие национальной инновационной системы зависит от следующих факторов:

- наличие долгосрочной инновационной стратегии страны с четко сформулированными целями и задачами развития инновационного потенциала;
- сотрудничество между частным бизнесом и исследовательским сектором для реализации инноваций;
- выявление и целевая поддержка направлений, имеющих значительный инновационный потенциал для страны;
- возможность мобилизовать необходимые ресурсы для достижения стратегических инновационных приоритетов страны;
- участие крупных частных корпораций в разработке стратегических инновационных приоритетов;
- наличие у государства долей в крупных национальных компаниях;
- государственная поддержка малых и/или средних инновационных фирм;
- разработка и внедрение программ коммерциализации инноваций;
- доступность венчурного капитала для инновационных фирм;
- монополизация таких отраслей экономики, как энергетика, транспорт, связь;
- использование инноваций в работе государственных органов.

Среди элементов государственной инновационной стратегии можно назвать следующие:

- специальные организации, ответственные за разработку и реализацию инновационной стратегии;
- система «двойной поддержки» инновационной деятельности и НИОКР в виде субсидий и на проектной основе;
- налоговые льготы для инновационной деятельности;
- инновационная инфраструктура: инновационные центры, технопарки, бизнес-инкубаторы;
- малые инновационные компании;
- фонды поддержки инноваций (венчурные фонды);
- взаимодействие государства с частными фондами;
- инновационные кластеры;
- ТНК;
- подразделения в вузах, отвечающие за коммерциализацию разработок, созданных на их базе;

– иностранные компании, передающие свои технологии местным НИИ.

Для стимулирования инновационных малых и средних предприятий, инвесторов в мировой практике предлагается использовать следующие формы:

- безвозмездное финансирование (субсидии, субвенции), которое может достигать 50 % расходов на создание новой продукции и технологий;
- предоставление займов и ссуд, в том числе беспроцентных;
- освобождение от налога на прибыль или налоговый кредит на инновационную деятельность.

Кроме того, проведенный анализ показал, что во многих странах для поддержки инновационных малых и средних предприятий применяются государственные контракты на проведение НИОКР. Субсидии и субвенции на основании таких контрактов обычно предоставляются для поддержки высоко рискованных проектов, реализуемых инновационными предприятиями, входящими в реестр предприятий, обладающих опытом выполнения сложных НИОКР при условии выполнения следующих требований:

- наличие четкой формулировки основных характеристик ожидаемых результатов, сроков исполнения и затрат на выполнение проекта;
- получение исполнителем результатов по решению научно-технической проблемы, заявленной заказчиком, в течение определенного срока;
- предоставление заказчиком необходимого исполнителю финансирования на весь период выполнения работ;
- гарантии заказчика на приобретение будущих результатов научного исследования исполнителя.

На основании анализа научных трудов отечественных и зарубежных ученых, действующих в Российской Федерации законодательных и нормативных актов, данных статистической отчетности, представленных материалами Федеральной службы государственной статистики, нами были выделены следующие особенности в управлении инновационными системами на мезо- и макроуровне в условиях турбулентности внешней и внутренней среды:

- отсталость российских компаний от зарубежных по технологическим показателям;
- повышение качества потребительского сервиса;
- преобладание принципов комплементарного и синергетического подходов к развитию инновационных систем на мезо- и макроуровне;

- неразвитость финансовых механизмов в управлении инновационными системами;
- развитие партнерства и стратегических союзов.

Далее дадим характеристику каждой из обозначенных выше тенденций.

1. Отсталость российских компаний от зарубежных по технологическим показателям.

Под технологическим отставанием понимается отставание продукции от продукта-лидера мирового рынка по соотношению «эксплуатационные характеристики – качество-цена».

Основными составляющими технологического отставания большинства российских компаний, на наш взгляд, являются НИОКР, технологии производства, производственное оборудование.

Анализ показал, что зарубежные компании вкладывают в фундаментальные исследования и НИОКР до 10–15 % своего оборота, что примерно составляет несколько миллиардов долларов в год.

Согласно данным Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации национальные компании инвестируют в разработки суммы меньшие на несколько порядков, чем зарубежные. В среднем их бюджет на НИОКР не превышает 2–3 % от выручки, а в большинстве случаев он меньше 1 %.

Несмотря на наметившийся рост инновационной активности промышленных предприятий России (табл. 3.1), инвестиции в инновации до сих пор незначительные. Среди основных показателей инновационной деятельности можно назвать следующие:

– общая инновационная активность организаций ( $ОИА_o$ ). Данный показатель рассчитывается по формуле 3.1.

$$ОИА_o = \frac{N_{и}}{N_o} \cdot 100\%, \quad (3.1)$$

где  $N_{и}$  – количество организаций, осуществлявших технологические, организационные, маркетинговые инновации в отчетном году;  $N_o$  – общее число обследованных организаций;

– инновационная активность организаций, осуществлявших технологические инновации ( $ИА_{от}$ ). Данный показатель рассчитывается по формуле 3.2.

$$ИА_{от} = \frac{N_{ит}}{N_o} \cdot 100\%, \quad (3.2)$$

где  $N_{\text{ит}}$  – количество организаций, осуществлявших технологические инновации в отчетном году;  $N_o$  – общее число обследованных организаций;  
– уровень отгруженных инновационных товаров, выполненных работ, услуг ( $Y_{\text{oit}}$ ). Данный показатель рассчитывается по формуле 3.3:

$$Y_{\text{oit}} = \frac{N_{\text{oit}}}{N} \cdot 100\%, \quad (3.3)$$

где  $N_{\text{oit}}$  – количество отгруженных инновационных товаров, выполненных работ, услуг;  $N$  – общий объем отгруженных товаров, выполненных работ, услуг;

– инновационная активность организаций, осуществлявших организационные инновации ( $IA_{\text{oo}}$ ). Данный показатель рассчитывается по формуле 3.4:

$$IA_{\text{oo}} = \frac{N_{\text{io}}}{N_o} \cdot 100\%, \quad (3.4)$$

где  $N_{\text{io}}$  – количество организаций, осуществлявших организационные инновации в отчетном году;  $N_o$  – общее число обследованных организаций;  
– инновационная активность организаций, осуществлявших маркетинговые инновации ( $IA_{\text{om}}$ ). Данный показатель рассчитывается по формуле 3.5:

$$IA_{\text{om}} = \frac{N_{\text{im}}}{N_o} \cdot 100\%, \quad (3.5)$$

где  $N_{\text{im}}$  – количество организаций, осуществлявших маркетинговые инновации в отчетном году;  $N_o$  – общее число обследованных организаций.

Как показало исследование, крупные промышленные предприятия в России не заинтересованы во внедрении инноваций в производственный процесс (рис. 3.2).

Низкая активность бизнес-сектора в финансировании НИОКР в значительной степени обусловлена слабым развитием в России системы частно-государственного партнерства: доля компаний, получавших бюджетное финансирование на эти цели, составляет в России всего 0,8 %. Кроме того, в Российской Федерации недостаточная поддержка оказывается и созданию малого инновационного бизнеса.

Таблица 3.1

**Основные показатели инновационной деятельности**

№ п/п	Показатель	Год					
		2010	2011	2012	2013	2014	2015
1.	Инновационная активность организаций, %	9,5	10,4	10,3	10,1	9,9	9,3
2.	Инновационная активность организаций, осуществлявших технологические инновации году, %	7,9	8,9	9,1	8,9	8,8	8,3
3.	Уровень отгруженных инновационных товаров, выполненных работ, услуг, %	4,8	6,3	8,0	9,2	8,7	8,4
4.	Инновационная активность организаций, осуществлявших организационные инновации, %	3,2	3,3	3,0	2,9	2,8	2,7
5.	Инновационная активность организаций, осуществлявших маркетинговые инновации, %	2,2	2,3	1,9	1,9	1,7	1,8

**2. Повышение качества потребительского сервиса.**

Вызванное переходом от «рынка продавца» к «рынку покупателя» развитие конкуренции привело к усложнению системы рыночных отношений и повышению требований к качеству процессов распределения продукции.

Такие тенденции можно наблюдать в секторах экономики B2B и B2C.

Повышаются требования со стороны производителей к качеству сервиса к поставщикам сырья, материалов, полуфабрикатов, комплектующих, а также к торговым и логистическим посредникам.

Промышленным предприятиям становится необходимым точнее идентифицировать издержки обслуживания клиентов, чтобы модифицировать набор услуг с учетом особенностей отдельных покупателей.

В результате образуется сложная система связей между различными субъектами рынка, требующая усовершенствования существующих подходов к организации снабжения и сбыта.

Отметим также, что обслуживание потребителей – превосходное конкурентное средство, которое имеет особое преимущество над ценовой



конкуренцией. Усовершенствования при обслуживании клиента требуют более длительного времени, и конкурентам имитировать их намного труднее. Уровень обслуживания потребителей непосредственно влияет на рыночную долю компании, на ее общие логистические издержки и в конечном счете на рентабельность, определяя не только лояльность уже имеющихся потребителей, но и то, сколько потенциальных потребителей станут фактическими [16, 17].

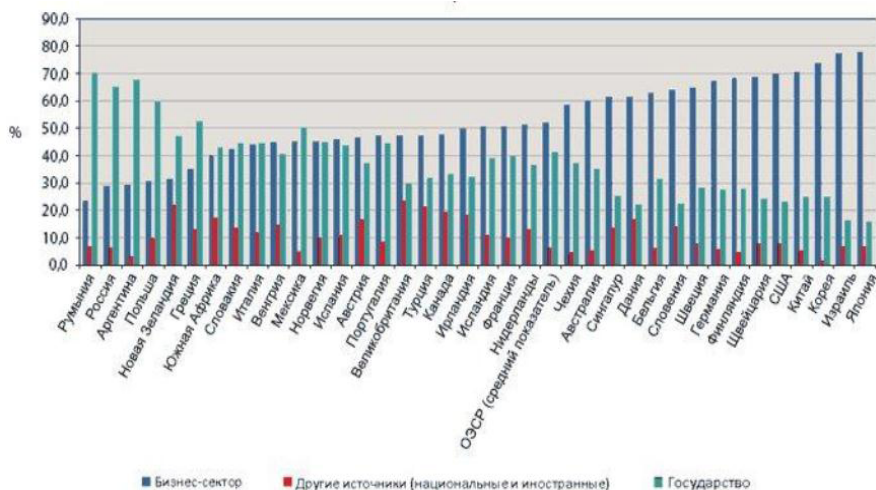


Рис. 3.2. Источники финансирования НИОКР в России и за рубежом (в % от общих затрат на НИОКР)

3. Преобладание принципов комплементарного и синергетического подходов к развитию инновационных систем на мезо- и макроуровне.

Устойчивость развития инновационной системы на мезо- и макроуровне связана с ее возможностью сохранять свои основные параметры, функционировать в соответствии с изменениями внешней и внутренней среды и восстанавливать установившиеся показатели при существенных изменениях экзо- и эндогенных факторов. В условиях турбулентности внешней и внутренней среды такой системы всегда существует некоторый критический для нее порог изменения показателей, когда наблюдается потеря устойчивости. Инновационное развитие можно отнести к эндогенному фактору, фактору внутренней среды, который изменяется не спонтанно, а

в результате реализации комплекса управленческих решений, эффективность которых на этапе их принятия, естественно, только прогнозируется. В результате формируется новая внутренняя среда, которая потенциально способствует устойчивости, а ее реальная устойчивость может быть оценена только в процессе функционирования [8, 18].

Другими словами, в управлении инновационными системами комплементарность проявляется во взаимодействии инновационных процессов, протекающих в их внутренней и внешней среде. Кроме того, комплементарность может проявляться при взаимодействии внутренних элементов системы и внешних институтов, то есть наивысший эффект достигается за счет растущего числа взаимодействий с каждым последующим этапом ее функционирования.

Если учесть, что с каждым таким этапом происходит смена господствующих в этот период моделей инновационных процессов, то влияние новой модели на механизмы работы предыдущих по существу создает определенный комплементарный эффект, так как в результате появления и внедрения новой модели значительно полнее реализуются возможности предыдущих моделей. Новая модель не просто дополняет и расширяет функции управления инновациями за счет использования нового фактора, но в том же время является определенным механизмом развития возможностей всех предыдущих моделей для совершенствования инновационных процессов. Новая модель не только несет новые идеи и подходы, но и создает новые механизмы для более эффективного использования факторов уже внедренных моделей [19].

Синергетика описывает механизм формирования эволюционного целого из частей, сложных структур из относительно простых, а также их устойчивого совместного развития. Соединение традиций и инноваций – главная норма современных отношений, возникающих при взаимодействии инновационных систем разного уровня. Так, сложные процессы, происходящие в ходе разработки и внедрения инновационных технологий, видов продукции, услуг и бизнес-моделей, носят ярко выраженный нелинейный характер и сопровождаются необратимыми изменениями.

В процессе своего развития инновационная система проходит две стадии эволюционную и революционную.

При этом инновационные процессы сопровождаются необратимыми изменениями. Главная задача синергетики при этом заключается в том, как обеспечить системе самоуправляемое и самоподдерживаемое разви-

тие. В этом случае синергетический эффект достигается за счет управления скоростями инновационных процессов.

Для этого необходимо выполнение следующих условий:

- управленческое воздействие должно осуществляться вовремя;
- управленческое воздействие должно быть направлено к выигрышному аттрактору (области притяжения);
- инновации должны быть ассоциированы с процессами самоорганизации в открытой инновационной системе.

Таким образом, синергетический подход создает реальную возможность объединения функциональных областей по управлению инновационными системами разного уровня путем координации действий, выполняемых их независимыми звеньями, и позволяет самоорганизовать такие системы в условиях турбулентности внешней и внутренней среды.

Сравнительная характеристика синергетического и комплементарного подходов к развитию инновационных систем на мезо- и макроуровне приведена в табл. 3.2 [19].

Таблица 3.2

**Сравнительная характеристика подходов к развитию инновационных систем на мезо- и макроуровне**

<b>Критерии для сравнения</b>	<b>Синергетический подход</b>	<b>Комплементарный подход</b>
Ключевое понятие	Точка бифуркации, аттрактор	Дополнительность, накопление опыта
Ключевой принцип	Самоорганизация	Взаимодополняемость
Составляющие элементы	Объединения структур, находящихся на разных стадиях развития	Объединения структур путем избирательного накопления конкурентных факторов
Источник развития	Внутреннее противоречие в системе	Ответная реакция на изменения внешней среды
Характер развития	Развитие в форме инновационного прорыва. Может проявиться в любой момент, в зависимости от структуры эндогенных и экзогенных факторов	Планомерное, прогнозируемое развитие. Реализуется на новом качественном уровне при условии реализации более ранних уровней развития инновационных процессов

Условия инновационного развития	Нелинейность, открытость, диссипация систем	Открытость, гибкость, адаптивность систем
Базовая идея инновационного развития	Использование бифуркационного механизма для вывода системы на новый уровень инновационного развития	Появление новых конкурентных факторов развития во внешней среде вызывает селективный отбор утвердившихся в практике управления принципов инновационного развития систем
Динамика инновационного развития	Выбор оптимальной в конкретных условиях формы самоорганизации	Открытая динамическая нелинейная система, стремящаяся к накоплению и фильтрации необходимого опыта
Эффект	Достижение благоприятного аттрактора	Мультипликативность

На основании данных таблицы можно сделать следующий вывод.

Среди общих моментов в управлении инновационными системами в рамках каждого из подходов можно назвать следующие. Во-первых, использование как одного, так и другого подходов возможно в целях инновационного развития только для открытых систем. Во-вторых, оба подхода предполагают улучшение внутренних регулирующих механизмов инновационных систем в ответ на изменение факторов внешней и внутренней среды. В-третьих, сами системы должны быть восприимчивы к инновационным изменениям.

Среди различий в управлении инновационными системами в рамках каждого из подходов можно назвать следующие. Во-первых, при синергетическом подходе характер инновационных изменений в системе скачкообразный, а при комплементарном – планомерный. Во-вторых, при синергетическом подходе инновационная система приобретает на какое-то время свойство устойчивости, равновесности, при комплементарном – система наращивает свойства адаптивности, преемственности. В-третьих, при синергетическом в большей мере развиваются механизмы самоорганизации, при комплементарном – механизмы самосохранения.

Таким образом, каждый из рассмотренных подходов имеет характерные черты, достоинства и недостатки. Сложность выбора подхода в целях инновационного развития социально-экономической системы заключается в следующем: сформировать критерии применения того или иного подхода в зависимости от существующего уровня инновационного развития социально-экономической системы и факторов ее внешней среды. Кроме того, выбор усложняется необходимостью учета изменений состояния и характеристик системы во времени.

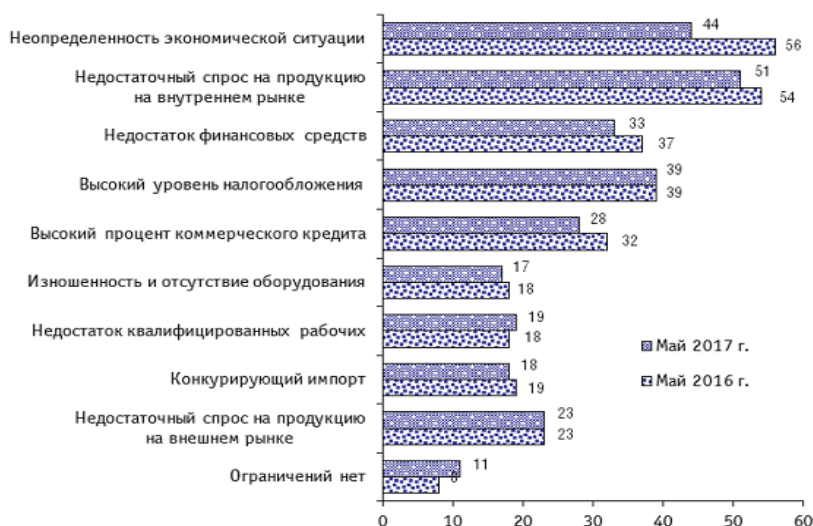
Использование синергетического подхода может дать наибольший результат при необходимости реализации быстрых изменений в инновационной системе. Комплементарный подход целесообразнее применять в условиях целевого управления инновационными системами, когда есть возможность разработки и последовательной реализации запланированных изменений.

4. Незрелость финансовых механизмов в управлении инновационными системами.

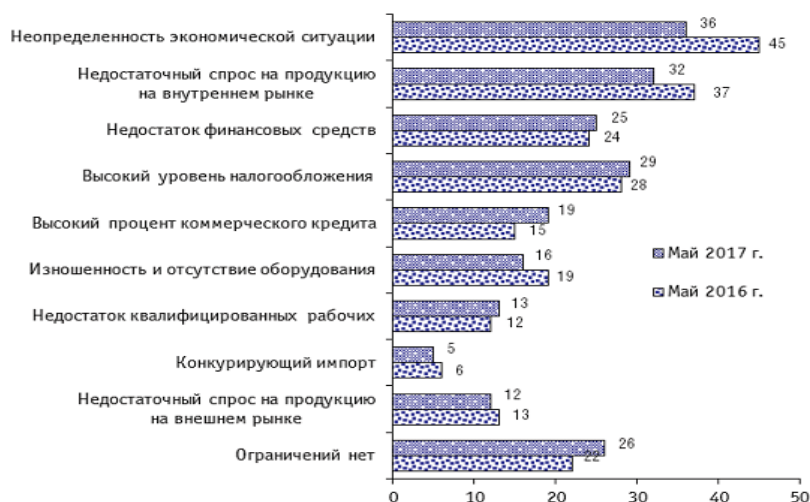
Федеральная служба государственной статистики Российской Федерации проводит регулярные исследования деловой активности предприятий России. При обследовании промышленных предприятий на предмет ограничивающих производство факторов анализируются следующие из них:

- недостаток квалифицированных рабочих;
- недостаток финансовых средств;
- высокий процент коммерческого кредита;
- неопределенность экономической ситуации;
- изношенность и отсутствие оборудования;
- высокий уровень налогообложения;
- конкурирующий импорт;
- недостаточный спрос на внутреннем рынке;
- недостаточный спрос на внешнем рынке.

Результаты анализа рейтинга факторов, ограничивающих производство по данным видам экономической деятельности в 2016–2017 гг. приведены на рис. 3.3. Рейтинг был построен исходя из популярности выделения каждого из факторов руководителями предприятий в качестве ограничивающего производство. Наиболее часто называемый ограничивающий фактор получил 1-е место; наиболее редко называемый ограничивающий фактор – 9-е место. На основе таких ежемесячных рейтингов было рассчитано среднее значение для показателя «Место в рейтинге» за май месяц 2016 и 2017 гг. для каждого из факторов.



*а*



*б*

Рис. 3.3. Оценка факторов, ограничивающих рост производства:  
*а* – в обрабатывающих организациях; *б* – в организациях добывающей промышленности

На рисунке видно, что среди факторов, ограничивающих производство на предприятиях, наиболее существенными являются недостаточный спрос, высокий уровень налогообложения, неопределенность экономической ситуации и недостаток финансовых ресурсов.

Следует отметить, что недостаток финансовых ресурсов может стать причиной неэффективной работы промышленных предприятий, поскольку в этом случае возможность принятия рационального управленческого решения снижается. Это может привести к уменьшению экономического потенциала промышленного предприятия, что впоследствии негативно отразится на показателях ВВП страны в целом.

#### 5. Развитие партнерства и стратегических союзов.

По данным Минпромэнерго России, государство активно поддерживает и готово продолжать поддерживать дальше интеграцию и кооперацию российских производителей с ведущими мировыми компаниями. Реалии глобальных рынков таковы, что пробиться на них в одиночку, без соответствующей поддержки крупных игроков практически невозможно.

Активизация государства и политики государственного регулирования в направлении интеграции и концентрации промышленного капитала способствует увеличению числа сделок в сфере слияний и поглощений.

Так, анализируя российский рынок слияний и поглощений, приведем статистику за 11 месяцев 2016 г., согласно статистическим данным, за указанный период времени:

- объем российского рынка M&A достиг 35,4 млрд долларов;
- число сделок выросло — на 2 %, до 391;
- в рублевом выражении суммарная стоимость сделок составила 2,33 трлн руб. [20].

Кроме того, можно отметить еще одну тенденцию – тенденцию сокращения покупателями числа своих поставщиков и переход к использованию «одного источника» получает все большее распространение. Выгодами такого подхода являются повышение качества, распространение инноваций, сокращение издержек, интегрирование графиков производства и поставок. В основе всего этого лежит идея о том, что взаимодействие между поставщиком и покупателем должно базироваться на отношениях партнерства.

Все большее число предприятий начинает обнаруживать те взаимные выгоды, которые могут быть обеспечены за счет установления долгосрочных связей с поставщиком. С точки зрения поставщика, такое партнерство может стать непреодолимой преградой на пути конкурентов. Один

из эффективных способов развития партнерских взаимоотношений заключается в совершенствовании системы предприятия в рамках интегрированного подхода, который становится нитью, связывающей материальные, информационные, финансовые и другие потоки, движущиеся между партнерами по каналу поставок [17, 21].

Таким образом, рыночная экономика по своей природе отличается высокой восприимчивостью к инновациям. Однако это не означает автоматического разрешения всех проблем в инновационной сфере. Для того чтобы рыночные механизмы сыграли свою стимулирующую роль в создании и освоении инноваций, они должны быть дополнены активной государственной политикой. Для выработки решений по проведению активной государственной политики необходимо иметь качественно выстроенную технологию развития инновационных систем.

Разработка и создание такой технологии должно учитывать следующее:

- необходимость развития новых теоретических и прикладных методов анализа и прогнозирования;

- объединение усилий государства, бизнеса и образовательных учреждений в условиях турбулентности внешней и внутренней среды.

Интеграция всех имеющихся достижений в науке и практике позволит создать эффективный механизм для решения инновационных задач развития систем на мезо- и макроуровне в сжатые сроки. С этой целью необходимо объединить знания и опыт применения технологии управления проектами, достижения в области управления бизнес-процессами, включая экономико-математическое моделирование, а также опыт компаний в области управления инновационной деятельностью.

Для оценки степени развития инновационных систем на мезо- и макроуровне можно использовать следующие подходы:

- ресурсный – в качестве структурных компонентов системы рассматриваются ее материальные и нематериальные, используемые и неиспользуемые, скрытые и реальные ресурсы;

- компетентностный – сумма знаний, умений и навыков всех субъектов инновационной системы;

- стратегический – исследование фактических и целевых параметров развития инновационной системы с целью формирования ключевых конкурентных преимуществ.

С нашей точки зрения, все эти подходы должны быть использованы в совокупности, что возможно при использовании логистического алгорит-



ма потоковых процессов. Применение всех трех подходов в данном методе позволяет получить синергетический эффект, связанный с оптимизацией совокупных затрат, возникающих при управлении инновационной системой разного уровня.

Таким образом, для разработки и внедрения механизма решения инновационных задач развития систем на мезо- и макроуровне в условиях высокой турбулентности внешней и внутренней среды предлагается использовать логистический алгоритм потоковых процессов [22, с. 478], согласно которому любой поток можно представить как направленное перемещение (преобразование) в пространстве и во времени определенного объема полезных ресурсов. Данный алгоритм объединяет в себе особенности всех вышеназванных подходов.

Так, поток – это функция, имеющая две составляющие: скалярную (скалярная составляющая потока (ССП))  $P_0$  – конкретный вид (объем, порция) полезных ресурсов и векторную (векторная составляющая потока (ВСП))  $\bar{P}_0(t, z)$  – ориентация потока в пространстве (во времени): откуда (исток, генератор потока), куда (сток, потребитель), с какой скоростью ( $v$ ) перемещается ССП. Тогда поток это (формула 3.6):

$$\bar{P} = P_0 \cdot \bar{P}_0(t, z), \quad (3.6)$$

где  $t$  – время,  $z$  – пространственная координата.

Выражение (3.6) есть элементарное представление потока. Каждый поток полезных ресурсов имеет свое элементарное представление. В общем случае при формировании какого-либо вида потока необходимым условием является наличие других потоков. Так, например, для нормального функционирования материального потока необходимы финансовая, информационная и другие составляющие. Таким образом, каждый вид потока в логистической системе имеет несколько векторных составляющих, обеспечивающих его формирование и движение.

В этом случае выражение для потока имеет вид (формула 3.7):

$$\bar{P} = P_0 \cdot \sum_{i=1}^N \bar{P}_{0i}(t, z), \quad (3.7)$$

где  $N$  – число векторных составляющих, сопутствующие и обеспечивающие потоки. Если рассматривать поток без перемещения в пространстве (отсутствует пространственная переменная  $z$ ), то он переходит в запас:

$P_0(t)$ . Как правило, при отсутствии движения в пространстве запас, чаще всего, изменяется во времени (по качеству, стоимости, объему и т. д.).

Каждому виду потока полезных ресурсов соответствует своя форма запаса. В общем виде запас и ССП не одно и то же – ССП формируется из запаса, а запас одна из форм существования ССП. Итак, существует тесная взаимосвязь между величиной запаса и параметрами ССП:

1) запас отражает результат изменения и накопления ССП (формула 3.8):

$$\bar{P} = P_0 \cdot \sum_{i=1}^N \bar{P}_{0i}(t, z) \big|_{z=0} = P_0 \cdot \sum_{i=1}^N \bar{P}_{0i}(t) = P_0 \cdot \bar{P}_0(t) = P_0(t), \quad (3.8)$$

где  $N$  – число сопутствующих векторных составляющих и так как движения нет, то  $N = 1$ ;  $\bar{P}_0(t)$  – некоторый параметр, характеризующий изменение запаса во времени.

2) ССП характеризует процесс изменения запаса (формула 3.9):

$$P_0 = \frac{dP_0(t)}{dt}. \quad (3.9)$$

При этом предлагается рассматривать следующие потоки:  $\bar{M}$  – материальный поток;  $\bar{F}$  – финансовый поток;  $\bar{I}$  – информационный;  $\bar{W}$  – поток трудовых ресурсов;  $\bar{U}$  – сервисный поток.

Если в системе несколько потоков, то рассуждения ведутся по отношению к  $i$ -му потоку.

Для успешного решения задач по оптимизации потоковых процессов, необходимо четко определить скалярную и векторную составляющие потока.

На основании предложенной классификации прослеживается взаимосвязь между различными потоками в системах разного уровня. При этом формирование инновационной привлекательности системы осуществляется на основе аддитивного алгоритма, включающего поток трудовых ресурсов (специалистов, разрабатывающих и внедряющих инновацию), финансовый поток (денежное обеспечение разработки и внедрения инновации), материальный поток (изменение структуры материального потока под воздействием инновации), информационный поток (куда и зачем внедряется нововведение). Для оценки степени развития инновационных

систем разного уровня необходимо провести анализ структуры потоков с целью выявления обеспечивающих потоков и оптимизации совокупных затрат.

Таким образом, предлагаемый логистический алгоритм потоковых процессов может быть использован для создания технологии развития инновационных систем на мезо- и макроуровне, что согласовывается с приоритетными направлениями Стратегии инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 г. и включает:

- активное использование человеческого капитала;
- развитие экологически чистых производств;
- формирование работоспособных экономических объединений;
- выход на стабильные демографические показатели;
- внедрение новых форм государственного управления;
- создание условий для устойчивого и сбалансированного развития сектора исследований и разработок.

Разработанный алгоритм будет направлен на интенсификацию:

- системных процессов и процедур, необходимых для разработки и реализации инновационных проектов;
- необходимого и достаточного производственно-управленческого опыта, позволяющего максимально использовать скрытый потенциал элементов инновационных систем;
- методов построения эффективных связей инновационных систем в условиях турбулентности внешней и внутренней среды;
- практических моделей планирования и прогнозирования рынка для обеспечения коммерческой эффективности инновационных проектов.

Отметим, что современные инновационные системы являются открытыми и нелинейными системами, то есть обладают способностью к сложному поведению, способны к самоорганизации и саморазвитию. Сложность поведения таких систем коренным образом отражается на эффективности инновационных процессов как в позитивном, так и в негативном аспектах.

Все изложенное обуславливает необходимость исследования широко-го круга вопросов, связанных с формированием механизмов, форм и методов развития инновационных систем на мезо- и макроуровне.

## **§2. Структурирование факторов инновационной активности и методические особенности оптимизации эконометрических моделей оценки их влияния на мезоуровне**

Статистическая база Федеральной службы государственной статистики содержит несколько показателей, которые могут быть использованы для оценки инновационного развития на региональном уровне: 1) объем инновационных товаров, работ, услуг; 2) внутренние затраты на научные исследования и разработки; 3) количество поданных заявок на патенты изобретений; 4) количество выданных патентов на изобретения. Первые два из перечисленных показателей носят достаточно субъективный характер, поскольку рассчитываются непосредственно организациями, которые вправе самостоятельно оценивать степень инновационности выпускаемой ими продукции. Показатель количества поданных заявок на патенты изобретений не является результирующим, поскольку характеризует скорее усилия и желание предприятий запатентовать изобретение, что в силу ряда причин не всегда может быть осуществлено (например, если подобное изобретение уже было ранее запатентовано и т. д.) Следовательно, использование данного показателя может привести к завышению уровня инновационного развития регионов.

Таким образом, в качестве обобщающего результирующего показателя инновационного развития на мезоуровне в данном исследовании было выбрано количество выданных патентов на изобретения. Данный показатель имеет ряд преимуществ. Во-первых, он характеризует результативность деятельности научно-исследовательского сектора, являющегося основным источником инноваций. Во-вторых, можно считать данный показатель объективным, поскольку единственным источником информации о выдаче патентов на изобретения в России является Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент). В-третьих, понятие «инновационности» применительно к региону является достаточно широким описанием большого числа процессов, из-за чего возникают сложности при оценке их влияния на экономику региона [23]. В то же время влияние получения патентов, заключающиеся в увеличении стоимости компании, является однозначным.

Существует большое количество потенциальных факторов, способных оказывать влияние на инновационное развитие региона. Для того чтобы упорядочить большое число имеющихся показателей, разделим их на несколько групп.

### *1. Развитие человеческого капитала в регионе*

Наличие высококвалифицированных специалистов в регионе является необходимым условием для разработки инновационных технологий и продуктов и их производства. Для привлечения специалистов в регион и предотвращения «оттоку мозгов» необходимо обеспечение достойного уровня жизни. Поэтому к данной группе показателей, кроме различных индикаторов уровня образования, относятся также государственные расходы на медицину и образование, уровень преступности, размер ВРП, уровень занятости и безработицы, сальдированный финансовый результат деятельности организаций и т. д.

### *2. Условия для развития конкуренции в регионе*

В настоящее время среди экономистов господствует мнение о том, что для активного восприятия, разработки и внедрения новых технологий необходимо наличие конкуренции между предприятиями. В частности, И. Г. Дежина и В. В. Киселева в своей работе, посвященной исследованию роли государства, науки и бизнеса в создании инновационно-ориентированной экономики, подчеркивают, что одной из причин нежелания российских компаний инвестировать в НИОКР является недостаточный уровень конкуренции и монополизм многих российских компаний. Таким образом, по мнению авторов, российской экономике необходима диверсификация размеров фирм [24]. Соответственно, в данную группу факторов вошли показатели, отражающие развитие финансовых институтов, долю малых предприятий в общем числе предприятий региона.

### *3. Инвестиционная активность в регионе*

Прохождение инновационного процесса невозможно без инвестирования. Для оценки инвестиционной активности региона необходимо учитывать не только объемы осуществляемых инвестиций, но и их распределение по отраслям и источникам финансирования. Влияние увеличения инвестиций в основной капитал на инновационную деятельность не является очевидным. По мнению некоторых исследователей, физический капитал и знания являются взаимодополняющими факторами, стимулирующими экономический рост. Существует и альтернативная точка зрения, согласно которой увеличение физического капитала ведет к экономическому росту только в среднесрочной перспективе и, соответственно, не может определять инновационную активность, имеющую, в большинстве случаев, долгосрочный характер [23]. Прямые иностранные инвестиции (ПИИ) в данном случае являются не только источником средств, но и од-

ним из важнейших каналов трансфера технологий. Однако следует понимать, что при проведении исследования необходимо учесть отраслевую специфику ПИИ. Поскольку одной из целей осуществления инновационного процесса для России является отход от сырьевой модели развития экономики, из выборки были исключены те регионы, в которых ПИИ поступают преимущественно в сырьевой сектор.

#### *4. Уровень развития инфраструктуры в регионе*

Исследованию влияния уровня развития инфраструктуры на благосостояние посвящено большое количество работ. Так, например, Calderon и Serven в своем исследовании подтвердили положительную взаимосвязь между развитой инфраструктурой и увеличением ВВП и сокращением неравенства при распределении доходов на уровне стран [25]. Уровень развития инфраструктуры в регионе влияет на транзакционные издержки предприятий и, соответственно, на рыночную эффективность производства инновационной продукции, что в свою очередь отразится на желании и возможности осуществлять НИОКР. В данную группу факторов вошли такие показатели, как объемы перевозки грузов, густота дорог, количество телефонных аппаратов и т. д.

#### *5. Степень вовлеченности региона во внешнеэкономическую деятельность*

Внешнеэкономическая деятельность и инновационная активность во многом обуславливают друг друга. С одной стороны, без разработки и внедрения инновационной продукции отечественные предприятия не смогут быть конкурентоспособными на мировом рынке. С другой стороны, не развивая сферу внешнеэкономических отношений, которая является одним из основных каналов трансфера технологий, российским организациям будет сложно повышать уровень инновационной активности. В данную группу вошли показатели, характеризующие объем экспорта/импорта в ближнее и дальнее зарубежье; показатели числа соглашений, стоимости предмета соглашения и поступления/выплаты по экспорту/импорту технологий и услуг технического характера, прямые иностранные инвестиции.

Прямые иностранные инвестиции (ПИИ) в данном случае являются не только источником средств, но и одним из важнейших каналов трансфера технологий. Однако следует понимать, что при проведении исследования необходимо учесть отраслевую специфику ПИИ. Поскольку одной из целей осуществления инновационного процесса для России является отход

от сырьевой модели развития экономики, из выборки были исключены те регионы, в которых ПИИ поступают преимущественно в сырьевой сектор.

Полный список рассматриваемых показателей с разбивкой по группам представлен в *Приложении 1*. Таким образом, анализируемая модель примет следующий вид:

**Количество выданных патентов на изобретения** = *f* (*развитие человеческого капитала; условия для развития конкуренции; инвестиционная активность; уровень развития инфраструктуры; степень вовлеченности в ВЭД*)

Для построения модели факторов, влияющих на инновационное развитие регионов, в работе использованы различные инструменты эконометрики. Однако сложность составления подобной модели заключается в том, что имеется большое количество факторов, которые потенциально могут влиять на инновационный процесс в регионе. Выше нами была предпринята попытка разделить возможные факторы на группы в зависимости от того, какой аспект инновационного потенциала региона они характеризуют.

В качестве статистической базы исследования нами были использованы данные Федеральной службы государственной статистики по 68 регионам России (из выборки были исключены регионы, по которым содержится малое число данных) за 2001–2014 гг., опубликованные в официальных изданиях, а также содержащиеся в электронных базах данных Федеральной службы государственной статистики (Приложение 2 – «Список анализируемых регионов»).

Для составления обобщенной эконометрической модели, учитывающей всевозможные факторы, мы использовали модифицированную «функцию генерирования знаний» Кобба – Дугласа, прологарифмировав ее [26]:

$$\ln Y_i = \alpha + \beta X_i + u_i, \quad (3.10)$$

где  $i$  – номер региона;  $Y_i$  – объясняемая переменная, характеризующая инновационную активность региона под номером  $i$ ;  $\alpha$  – константа;  $X_i$  – вектор объясняющих переменных для региона под номером  $i$ .

Так как представленная модель является логарифмической, коэффициенты регрессии  $\beta i$  представляют собой эластичности – процентное изме-

нение  $Y_i$  в ответ на процентное изменение соответствующей переменной. Принимая во внимание то, что логарифмирование применимо только к положительным величинам, часть объясняющих переменных была выражена в процентных отношениях (долях) или в виде средних показателей.

Перед тем как приступить к тестированию эконометрической модели, необходимо определить, какие переменные из имеющихся должны быть включены в регрессионное уравнение. Верное определение переменных имеет большое значение для результатов эмпирического анализа: включение излишне большого их количества приведет к нестабильности результатов эмпирической оценки модели, а исключение важных переменных будет способствовать искажению оценок и возникновению проблемы полной мультиколлинеарности.

Рассмотрим следующую модель оптимизации:

$$y_{it} = \alpha i_{NT} + \left( x_{it}^{opt} \right) \beta + u_{it}, \quad (3.11)$$

где  $x_t = (x_{1,t}, \dots, x_{k,t})$  – вектор  $k$ -переменных, для которых  $x_t^{opt}$  является оптимальной структурой модели, которую необходимо определить;  $u_{it}$  – вектор остатков регрессии.

В научной литературе приведено несколько методов решения задачи оптимизации регрессионных моделей при использовании больших баз данных. В частности, согласно исследованию Т. Perez-Amaral, G. M. Gallo, Н. White существуют методы, основанные на  $t$ -статистике и критерии  $R^2$ , в частности методы «от общего к частному» и «снизу вверх» [27]. Однако оба данных метода являются ненадежными, поскольку их использование для одной и той же модели приводит к различным результатам.

Другим способом выбора оптимальной модели является использование информационных критериев (IC) для отбора модели согласно ее объясняющей способности и дополнительному «штрафу» за количество включенных в нее регрессоров [28]. Таким образом, информационные критерии позволяют в определенной степени подобрать оптимальную спецификацию модели с точки зрения баланса между ее точностью и сложностью (количеством включенных переменных). Соответственно, необходимо найти набор переменных, ведущих к минимизации значения информационного критерия. В данном исследовании рассматриваются два информационных критерия: Хэннан – Куинна (HQIC) и Байесовский информационный критерий (BIC) (иногда называемый «критерий Швар-



ца»). Информационный критерий Акаике (AIC) не был рассмотрен, поскольку имеет достаточно существенный недостаток, состоящий в переоценке истинного количества параметров в модели [29].

Названные информационные критерии имеют следующую структуру:

$$IC = \ln(\delta^2) + f(k, n), \quad (3.12)$$

где  $\delta^2$  – оценка остаточной суммы квадратов;  $f(k, n)$  – «штраф» за количество включенных переменных ( $k$ ), зависящий от размера выборки.

В соответствии с информационным критерием, штраф равняется  $2k\ln(n)/n$  и  $2k\ln(\ln(n))/n$  для BIC и HQIC, соответственно.

Однако при нахождении глобального минимума функции также может возникнуть ряд проблем. W. L. Goffe, G. Ferrier, J. Rogers были одними из первых, кто признал, что многие проблемы оптимизации в эконометрике не могут быть решены с использованием стандартных методов из-за существования множественных оптимумов и разрывов [30]. Эвристические методы оптимизации предлагают решение в таких случаях. Эвристические методы на самом деле не являются новыми в теории оптимизации (некоторые из алгоритмов появились еще в 1960-х гг.), однако они лишь с недавнего времени становятся актуальными для применения на практике благодаря огромному увеличению вычислительной мощности компьютеров в течение последних двух десятилетий. Термин «эвристические методы» фактически охватывает широкий спектр различных методов, многие из которых были созданы на подобие эволюционных или биологических процессов. Например, существуют методы, которые напоминают эволюцию видов (генетические алгоритмы) или копируют поведение стаи птиц, которые ищут пищу. Gilli и Winker в своей работе представляют обзор подобных методов и их использования в эконометрике [31].

Несмотря на имеющиеся между различными эвристическими методами различия, существуют и общие принципы, присущие всем методам. Все эвристические методы используют сходные стратегии для преодоления проблемы «застревания» в локальном оптимуме. Во-первых, во время работы в пространстве поиска они разрешают временное ухудшение значения целевой функции. Во-вторых, общим для всех методов является использование случайности для создания новых вариантов решения.

Для минимизации функции обозначенных ранее информационных критериев нами были выбраны два эвристических метода и разработаны

соответствующие алгоритмы к ним: алгоритм порогового принятия и генетический алгоритм. Оба алгоритма были спрограммированы в пакете *R* (*R-project*).

### **Алгоритм порогового принятия (Threshold Accepting)**

Алгоритм порогового принятия, предложенный Dueck и Scheurer в 1990 г., – это усовершенствованный вариант классического метода локального поиска [32]. Алгоритм локального поиска начинается со случайно выбранного допустимого решения, затем выбирается – опять случайно – соседнее решение как новый потенциальный вариант решения. Если это новое решение, называемое «соседним», лучше, алгоритм принимает его. Если «соседнее» решение хуже, алгоритм остается на исходном решении и выбирает нового «соседа». Алгоритм останавливается по истечении заданного большого числа итераций, или если не было достигнуто никаких улучшений в течение ряда этапов.

В отличие от метода локального поиска, в алгоритме порогового принятия новое решение принимается вне зависимости от того, уменьшается или увеличивается ли значение целевой функции, главное, чтобы различие в значениях функций, не превышающее заданного порога. Основными компонентами данного алгоритма является функция, которая определяет снижение порога в ходе процедуры, критерии остановки, а также методы, используемые для создания начального решения и поиска соседних решений. Основными преимуществами алгоритма являются концептуальная простота и отличная производительность на различных задачах комбинаторной оптимизации.

#### **Псевдокод алгоритма порогового принятия**

- Инициализировать начальное решение  $w_0$ , максимальное количество итераций  $I_{\max}$  и порог  $\tau$ .
- Выполнять следующий цикл, пока не достигнем  $I_{\max}$ :
  - {
  - сгенерировать случайное соседнее решение;
  - если разность целевых функций меньше порогового значения, то принять соседнее решение как новое решение;
  - уменьшить значение порога.
  - }

В данном алгоритме генерируется начальное решение  $w_0$  в качестве бинарного вектора, компоненты которого соответствуют регрессорам  $X$ ,

1 – регрессор включен в начальное решение, 0 – регрессор не включен. Начальное решение генерируется случайным образом, вместо того, чтобы генерировать его на основании эмпирических фактов или ожиданий, для того, чтобы алгоритм не начал работу с позиции локального минимума.

Новое решение  $w_1$  генерируется путем обмена двух случайно выбранных компонент с компонентами, расположенными в ближайшем соседстве в радиусе трех компонент. Сосед выбирается случайным образом, и если он имеет то же значение, что и выбранная компонента, тогда ее значение меняется на противоположное (например, с 1 на 0). То же самое происходит, если случайно выбранный сосед оказался изначально выбранной компонентой.

Чтобы сгенерировать эффективные пороги для всех трех информационных критериев, в научной литературе используется модель потока данных [33]. С этой целью рассчитывается абсолютная разница между начальным и новым значениями целевой функции. Основываясь на экспериментальных данных, полученных исследователями, пороговое значение было выбрано нами на уровне 0,6. Если установить в качестве порогового значение равное нулю, тогда получим классический метод локального поиска.

Так как алгоритм порогового принятия является стохастическим процессом, то он может найти лучшее решение, а затем потерять его в процессе поиска. Чтобы избежать подобной ситуации, лучшее решение, найденное во время поиска, сохраняется.

### **Генетический алгоритм (Genetic Algorithm)**

Генетический алгоритм, ставший популярным после выхода в 1975 г. книги Дж. Холланда «Адаптация в естественных и искусственных системах», является эвристическим методом, в основе которого лежит набор решений или так называемая «популяция» [34]. Таким образом, генетический алгоритм развивает поисковое пространство в нескольких направлениях одновременно так, что вероятность попадания в локальный минимум снижена.

Члены «популяции» генетического алгоритма («хромосомы») представлены как бинарные строки, в которой каждая позиция («ген») имеет два возможных значения: 1 и 0. В каждом «поколении» генетический алгоритм заменяет часть популяции новыми хромосомами («детьми»), для того чтобы достигнуть лучшего решения для конкретной задачи. «Дети»

генерируются с помощью механизма скрещивания, который комбинирует части родительских хромосом, и мутации, которые случайным образом изменяет несколько генов в хромосомах.

**Псевдокод генетического алгоритма**

– Инициализировать начальную популяцию  $K$ , максимальное количество поколений  $G_{\max}$ .

– Выполнять следующий цикл, пока не достигнем  $G_{\max}$ :

{

– сортировать популяцию в порядке ухудшения показателя целевой функции;

– сгенерировать дочерние хромосомы;

– добавить дочернюю хромосому к новой популяции;

– мутировать случайным образом в генах популяции;

}

$K$  – матрица  $p$  начальных решений. Количество начальных решений было выбрано на уровне 500, считая, что это достаточно большая цифра для просмотра поискового пространства в разных направлениях, и в то же время достаточно маленькая для возможной эффективной сортировки и выбора наилучшего решения. Как и в предыдущем алгоритме, хромосомы в начальной популяции генерировались с фиксированным количеством включенных переменных, случайно распределенных по вектору. После этого популяция сортируется по возрастанию целевой функции и берется только 50 % наилучших, с точки зрения целевой функции, хромосом.

В дополнение к этому генетический алгоритм предполагает два механизма скрещивания: скрещивание в единственной точке (single-point) и мультискрещивание (то есть скрещивание хромосом в нескольких точках) – uniform. При скрещивании хромосом в единственной точке две родительских хромосомы разбиваются в случайно выбранном гене. Затем дети получаются из комбинирования первой части одной родительской хромосомы и второй части другой родительской хромосомы. Мультискрещивание является более сложным процессом, при котором скрещивание может произойти не обязательно в одном гене. С вероятностью  $p_0$  переставляются родительские гены в хромосоме-наследнике.

Для применения эвристических алгоритмов оптимизации к модели, представленной формулой 3.11, в регрессионное уравнение были включены все потенциальные переменные, за исключением объясняемой. Далее остатки регрессии, оцененной с помощью метода наименьших квадратов

(МНК), использовались для составления целевой функции, в роли которой поочередно выступали два обозначенных ранее информационных критерия (BIC и HQIC). Поскольку чем меньше значение информационного критерия, тем более высока точность модели, задачей использования эвристических алгоритмов являлось нахождение минимума заданной целевой функции.

Протестировав два возможных механизма скрещивания для 100 поколений, по результатам 10 запусков каждого алгоритма были получены следующие результаты (табл. 3.3) для целевой функции, задаваемой критерием BIC (в качестве объясняемой переменной выступал логарифм количества выданных патентов на изобретения).

Таблица 3.3

**Сравнение двух механизмов скрещивания для генетического алгоритма**

Показатель	Скрещивание в одной точке	Мультискрещивание
Среднее значение	-0,4315348	-0,4326342
Минимальное значение	-0,4311782	-0,4328636
Стандартное отклонение	0,0004562	0,0003256

Два вышеназванных механизма сравнивались нами по трем показателям: 1) среднее значение целевой функции; 2) минимальное ее значение; 3) стандартное отклонение. По каждому из представленных критериев более сложный по своей природе механизм мультискрещивания продемонстрировал лучший результат, что свидетельствует о его большей эффективности и более высокой устойчивости полученных результатов. Основываясь на результатах проведенного сравнения, в дальнейшем для реализации генетического алгоритма был выбран механизм мультискрещивания генов.

Далее сравнение по аналогичным критериям было проведено нами для генетического алгоритма и алгоритма порогового принятия. Результаты представлены на основе 10 запусков каждого из алгоритмов (табл. 3.4). Количество итераций для алгоритма порогового принятия с целью обеспечения сопоставимости результатов для двух алгоритмов равняется произведению числа поколений и числа хромосом для генетического алгоритма.

Таблица 3.4

**Сравнение эвристических алгоритмов**

<b>Показатель</b>	<b>Генетический алгоритм</b>	<b>Алгоритм порогового принятия</b>
Среднее значение	-0,4326342	-0,4162312
Минимальное значение	-0,4328636	-0,4287731
Стандартное отклонение	0,0003256	0,0004253

Проанализировав полученные результаты, можно отметить, что генетический алгоритм по всем трем информационным критериям демонстрирует значительное меньшее стандартное отклонение, что свидетельствует об относительной устойчивости получаемых результатов. Более того, наилучшие (в данном случае наименьшие) решения также были найдены с помощью генетического алгоритма. Следовательно, в дальнейшем целесообразным представляется использование результатов генетического алгоритма.

### **§3. Эконометрическое моделирование влияния социально-экономических подсистем на инновационную активность в условиях региональной неоднородности**

Существует несколько способов оценки модели, составленной для панельных данных. Сквозная модель регрессии (Pooled regression) не учитывает панельную структуру исследуемых данных и, соответственно, не позволяет учесть индивидуальные особенности регионов. К моделям, которые способны учесть влияние индивидуальных эффектов, относятся модели с фиксированными и случайными индивидуальными эффектами [35].

В общем виде модель, учитывающая индивидуальные фиксированные эффекты, будет выглядеть следующим образом:

$$y_{it} = X'_{it}\beta + \alpha_i + \varepsilon_{it}, \quad (3.13)$$

где  $\alpha_i$  – индивидуальная характеристика для региона, не зависящая от времени (индивидуальный эффект, неучтенный фактор).

В свою очередь существует два способа оценки модели с фиксированными эффектами. Первый заключается в использовании дамми-переменных для обозначения каждого из регионов:

$$d_{jt} = \begin{cases} 1, & \text{если } i = j \\ 0, & \text{если } i \neq j \end{cases} \text{ при } j = 1 \dots N. \quad (3.14)$$

При этом во избежание «ловушки дамми» и полной мультиколлинеарности следует исключить из модели индивидуальные особенности регионов, не меняющиеся со временем. Оценка модели осуществляется с помощью метода наименьших квадратов. Однако при большом числе исследуемых объектов нельзя гарантировать состоятельность данной оценки.

Второй способ оценки модели с фиксированными эффектами заключается в использовании внутригруппового (within) преобразования. Для осуществления данного преобразования переменные в формуле (3.13) следует заменить на их отклонения от средних значений соответствующих исходных переменных:

$$(y_{it} - y_{i\cdot}) = (X_{it} - X_{i\cdot})'\beta + (\varepsilon_{it} - \varepsilon_{i\cdot}). \quad (3.15)$$

После осуществления описанного преобразования модель оценивается МНК. Полученная оценка будет состоятельной и асимптотически нормальной. Модель с фиксированными эффектами является достаточно гибкой, поскольку, в отличие от модели сквозной регрессии, позволяет учитывать индивидуальную гетерогенность регионов. Качество подгонки данной модели позволяет оценивать по коэффициенту детерминации  $R^2$ -within.

Модель со случайными эффектами в матричной записи имеет следующий вид:

$$Y = X \cdot b + u, \quad (3.16)$$

где  $u_{it} = \alpha_i + \varepsilon_{it}$ ;  $\alpha_i$  – индивидуальная характеристика региона, как и в модели с фиксированными эффектами, однако теперь предполагается, что подобные индивидуальные различия между регионами носят случайный характер. Для оценки модели используется обобщенный метод наименьших квадратов.

Для выбора правильной спецификации модели (с фиксированными или же со случайными эффектами) был использован тест Хаусмана, согласно результатам которого лучшей является модель с фиксированными эффектами.

Тот факт, что результаты эконометрического оценивания, полученные для моделей, составленных для обоих информационных критериев, очень схожи и не противоречат друг другу, свидетельствует об устойчивости выбранной спецификации модели (табл. 3.5).

Таблица 3.5

**Результаты эконометрического моделирования факторов  
инновационного развития регионов**

Регрессор	Критерий	
	BIC	HQIC
Логарифм ВРП	0,42***	0,42***
Логарифм доходов консолидированного бюджета субъекта РФ	0,14***	0,14***
Логарифм валового накопления основного капитала	-0,09***	-0,09***
Доля организаций, выполнявших научные исследования и разработки, в общем числе организаций	3,97***	3,97***
Логарифм густоты железнодорожных путей общего пользования (км путей на 10 000 кв. км территории)	0,26***	0,26***
Логарифм объема инвестиций в основной капитал организаций: транспорт	0,01*	0,01*
Доля выпускников государственных и муниципальных вузов в общей численности населения региона	0,40*	0,39*
Логарифм численности сотрудников организаций, занятых исследованиями и разработками	0,13**	0,14**
Логарифм прямых иностранных инвестиций	0,02***	0,02***
Логарифм выплат средств за импорт технологий и услуг	-0,04***	-0,04***
Количество наблюдений	952	952
R <sup>2</sup> -within	0,79	0,79

*Примечание:* символы \*, \*\* и \*\*\* указывают на значимость на уровнях 10, 5 и 1 % соответственно. Представлены результаты только для значимых переменных.

О хорошем качестве подгонки модели позволяет судить достаточно большой  $R^2$ -within, равный 0,7927 и 0,7929 в моделях для BIC и HQIC, соответственно, и рассчитываемый как:



$$R_{\text{within}}^2(\hat{\beta}_w) = \text{corr}^2(\hat{y}_{it}^w - \hat{y}_{i\cdot}^w, y_{it} - y_{i\cdot}), \quad (3.17)$$

где  $\bar{y}_{it} = \frac{1}{T} \sum y_{it}$ , при  $t = 1 \dots T$  – усредненные по времени для каждого региона значения объясняемой переменной,  $\hat{y}_{it}^w = X'_{it} \hat{\beta}_w$ ,  $\hat{y}_{i\cdot}^w = X'_{i\cdot} \hat{\beta}_w$ .

Регрессия в целом также является значимой, о чем свидетельствует  $F$ -тест ( $\text{Prob} > F = 0,0000$ ). Высокое значение показателя  $\rho$  (0,86), определяющего часть вариации данных, которая приходится на индивидуальные эффекты, также служит подтверждением выбора правильной спецификации модели.

По результатам эконометрического оценивания можно сделать вывод, что из каждой из пяти изначально сформированных групп факторов, потенциально влияющих на инновационное развитие регионов, как минимум один показатель вошел в итоговую модель, что подтверждает наличие предположенной взаимосвязи.

По результатам тестирования в модель вошли два фактора, которые можно отнести к внешнеэкономическим: прямые иностранные инвестиции и выплату средств за импорт технологий и услуг. Значимость первого из них может являться следствием того, что продукты и технологии, создаваемые за счет прямых зарубежных инвестиций, зачастую являются новыми. Однако отметим, что также они могут представлять собой имитации уже используемых технологий за рубежом, и в этом случае, соответственно, могут не вести к увеличению числа выданных патентов. Обратная зависимость количества выдаваемых патентов и выплат средств на импорт технологий закономерна и свидетельствует о снижении инновационной активности предприятий при возможности заимствования технологий из-за рубежа.

Положительная взаимосвязь между уровнем развития экономики региона (ВРП) и количеством выданных патентов на изобретения подтверждает гипотезу о том, что наиболее инновационные регионы России также имеют наиболее развитую экономику.

Значимость размера доходов бюджета региона может объясняться следующим образом: увеличение доходной части бюджета может способствовать увеличению финансирования различных государственных программ, направленных на улучшение человеческого потенциала, инфраструктуры, а также стимулирование инновационной активности.

Отрицательное влияние валового накопления основного капитала свидетельствует в пользу гипотезы о том, что увеличение нематериальных

активов (к числу которых относятся патенты) и увеличение основных средств носят взаимозаменяющий характер. Предприятия, инвестирующие в основные средства, отвлекают на это значительную часть своего дохода и, в силу имеющихся финансовых ограничений, не имеют возможности параллельно осуществлять инвестиции в научные исследования и разработки.

Значимость развития инфраструктуры подтверждается положительным влиянием густоты железнодорожных путей и инвестиций в транспортную отрасль. Улучшение транспортной инфраструктуры положительно сказывается на товарообороте, тем самым увеличивая потенциальные рынки сбыта, что является немаловажным стимулом при принятии решения о разработке нового продукта.

Качество человеческого потенциала в модели отражают сразу две переменные (доля выпускников государственных и муниципальных вузов в общей численности населения региона, а также численность сотрудников организаций, занятых исследованиями и разработками), что говорит об исключительной важности развития человеческих ресурсов для инновационного развития. Прямая и достаточно сильная зависимость между долей организаций, выполнявших научные исследования и разработки, в общем числе организаций и количеством выдаваемых патентов говорит о высокой степени результативности научно-исследовательской деятельности. Другими словами, большое количество организаций, занимающихся НИР, добиваются желаемого результата, которым является получение патента.

Однако принимая во внимание неоднородность развития российских регионов, представляется интересным рассмотреть модели не только для всей их совокупности, но и для отдельных групп, сформированных по определенным показателям. Для осуществления данной цели были использованы самоорганизующиеся карты Кохонена (СОК). Они относятся к классу нейросетевых методов, в которых используется нелинейная регрессия. Применение СОК позволяет упорядочивать анализируемые территориальные объекты на плоскости в соответствии с их характеристиками таким образом, чтобы объекты, близкие по значению этих характеристик в исходном многомерном пространстве признаков, оказались рядом друг с другом на плоскости. Использование данного метода имеет ряд преимуществ, в частности позволяет учесть комплексность процесса формирования региональных социально-экономических систем [36].

В качестве целевых показателей в рамках данного исследования были выбраны критерии, позволяющие оценить степень индустриального развития региона. Согласно цивилизационной концепции общества, переход к постиндустриальной стадии развития (которая определяется господством науки и знаний над другими сферами) будет осуществлен после прохождения им индустриальной стадии [37]. Таким образом, высокий уровень индустриального развития региона может служить показателем готовности его перехода к инновационному развитию.

Исходя из выбранных пяти критериев, по результатам использования СОК 68 регионов были разбиты на три группы (табл. 3.6 и Приложение 3).

Таблица 3.6

**Результаты использования самоорганизующихся карт Кохонена**

Средний показатель	Все регионы	Группа 1	Группа 2	Группа 3*
ВРП на душу населения	113 853	119 000	76 000	204 000
Валовое накопление основного капитала на душу населения	39,3	41,1	25,1	73,5
Доля городского населения в общей численности населения региона	70,6	72,7	62,0	84,7
Индекс промышленного производства (прирост в % к пред. году)	6,20	5,65	8,59	2,36
Доля в ВРП обрабатывающих производств (категория «Д» ОКВЭД)	20,6	23,0	18,0	12,1
Количество регионов	68	42	20	6

*Примечание:* \*попадание Санкт-Петербурга в данную группу связано с высоким уровнем благосостояния в данном регионе, которое, в отличие от остальных регионов группы, не объясняется значительно более высоким уровнем цен. Таким образом, инновационное развитие Санкт-Петербурга, скорее, более схоже с регионами группы 1.

В первую группу (Приложение 4) вошла большая часть регионов (62 %). Можно сказать, что данная группа является репрезентативной для генеральной совокупности, поскольку все пять показателей по среднему значению полностью повторяют динамику и лишь немного превосходят средние характеристики для всего массива регионов. Для регионов,

вошедших в первую группу, характерен достаточно высокий уровень благосостояния и хорошо развитая обрабатывающая промышленность, следовательно, можно предположить, что они являются наиболее инновационными, что подтверждается статистическими показателями (табл. 3.7). Наличие прямой взаимосвязи между уровнем промышленного и инновационного развития подтверждает правильность выдвинутой ранее гипотезы для определения критериев разбивки регионов.

Таблица 3.7

**Среднее значение объясняемой переменной для групп регионов**

Показатель	Все регионы	Группа 1	Группа 2	Группа 3
Логарифм числа выданных патентов на изобретения	4,92	5,34	4,35	3,85

Вторая группа регионов характеризуется значительно более низким уровнем благосостояния, сравнительно невысокой возможностью для накопления основного капитала, наиболее низким числом городского населения. В то же время для регионов указанной группы характерен наибольший прирост промышленного производства. Уровень инновационного развития ниже, чем в среднем по стране. Таким образом, можно считать, что регионы второй группы имеют хороший потенциал для инновационного развития, однако сначала им необходимо достигнуть более высокого уровня развития промышленного производства.

Третья группа регионов, на первый взгляд, характеризуется значительно более высоким уровнем дохода и хорошей способностью к накоплению основного капитала. Однако принимая во внимание то, что в данную группу входят регионы преимущественно с суровыми климатическими условиями, в частности регионы Крайнего Севера и Северо-Востока страны, необходимо понимать, что данный показатель нуждается в корректировке с учетом гораздо более высоких цен («фактор северного удорожания») [38]. Значительно более низкие, чем в среднем по стране, индекс промышленного производства и доля обрабатывающей промышленности свидетельствуют о слабом индустриальном развитии регионов данной группы. Уровень инновационного развития намного уступает среднему по России. Следовательно, стимулирование инновационного развития в данных регионах является наиболее проблематичным.

Таким образом, разбив выборку из 68 регионов на три группы и оценив модель с исходными факторами для каждой из них (табл. 3.8), проанализируем полученные результаты.

Таблица 3.8

**Результаты эконометрического моделирования факторов  
инновационного развития для групп регионов**

Регрессор	Группа 1		Группа 2		Группа 3	
	BIC	HQIC	BIC	HQIC	BIC	HQIC
Логарифм ВРП	-	-	1,27***	1,22***	-	-
Логарифм доходов консолидированного бюджета субъекта РФ	0,24***	0,24**	-	-	-	-
Логарифм валового накопления основного капитала	-0,08***	-0,08***	-0,12***	-0,13***	-	-
Логарифм числа зарегистрированных преступлений на 100000 чел. населения	-	-	-0,48**	-0,57**	-	-
Доля организаций, выполнявших научные исследования и разработки, в общем числе организаций	2,82***	2,67***	9,43***	10,56***	5,84**	5,94***
Логарифм сальдированного финансового результата предприятий	-	-	-	-	0,05*	0,05*
Логарифм густоты железнодорожных путей общего пользования (км путей на 10000 кв. км территории)	0,16**	0,17**	1,08***	1,05***	-	-
Логарифм густоты автомобильных дорог путей общего пользования с твердым покрытием (км дорог на 1000 кв. км территории)	0,05***	0,05***	-	-	0,33*	0,18***
Доля кредитных организаций в общем числе организаций в регионе	-	-	12,97*	13,88**	-	-
Логарифм объема инвестиций в основной капитал организаций: транспорт	0,02***	0,04***	0,01**	0,01**	-	-

Логарифм объема инвестиций в основной капитал организаций: связь	0,01*	0,01*	-	-	-	-
Доля выпускников государственных и муниципальных вузов в общей численности населения региона	0,68***	0,65***	1,20*	1,25*	-	-
Логарифм прямых иностранных инвестиций	0,02**	0,02***	0,02***	0,03***	0,01**	0,02**
Логарифм выплат средств за импорт технологий и услуг	-0,23***	-0,28***	-0,06**	-0,06**	-	-
Доля городского населения в общей численности населения региона	X	-	X	0,08**	X	-
Количество наблюдений	588	588	280	280	84	84
R <sup>2</sup> within	0,82	0,82	0,88	0,88	0,55	0,56

*Примечание:* Символы \*, \*\* и \*\*\* указывают на значимость на уровнях 10, 5 и 1 % соответственно. «X» – переменная не вошла в регрессию, «-» – переменная незначима.

Рассмотрим основные особенности, выявленные по результатам эконометрического тестирования.

Значимость логарифма доходов консолидированного бюджета для регионов первой группы свидетельствует о том, что в данных регионах государство активнее всего оказывает поддержку инновационному развитию за счет различных программ, финансируемых (частично) за счет бюджетных средств. Можно также предположить, что количество инвестиций в основной капитал предприятий отрасли связи оказалось значимым только для регионов первой группы благодаря уже достигнутому достаточно высокому уровню развития технологий в сравнении с прочими регионами. Соответственно, дальнейшее инвестирование в данную отрасль способствует появлению инноваций.

Значимость количества числа зарегистрированных преступлений для регионов второй группы является следствием достаточно высокого уровня преступности. В частности Алтайский край, Республика Бурятия, Курганская область, по результатам исследований агентства «РИА-Ана-

литика», входили в регионы с наиболее высоким уровнем преступности. Рост числа преступлений негативно сказывается на привлекательности региона как для ученых, так и для инвесторов и внешнеэкономических партнеров, что способствует снижению инновационной активности. Следующей особенностью данной группы регионов является сильная значимость доли кредитных организаций в общем числе организаций региона. Можно предположить, что предприятия регионов данной группы не обладают достаточными собственными средствами для финансирования НИР и вынуждены использовать заемные средства.

Значимость сальдированного финансового результата деятельности предприятий для регионов третьей группы свидетельствует о том, что инновационная деятельность осуществляется, прежде всего за счет прибыли организаций. Этому способствует недостаточное развитие финансовых институтов и, соответственно, труднодоступность заемных средств. Еще одной особенностью данной группы является сильная значимость такого показателя развития человеческого потенциала, как численность сотрудников организаций, занятых НИР. В силу тяжелых климатических условий и невысокого уровня социального и экономического развития регионы данной группы являются малопривлекательными для молодых специалистов, что приводит к нехватке квалифицированных ученых и исследователей. Таким образом, на фоне общей невысокой патентной активности увеличение числа научных сотрудников приводит к достаточно большому росту числа выдаваемых патентов. Примечательно также, что для регионов этой группы незначимым оказался такой фактор, как выплата средств за импорт технологий и услуг, что говорит о низкой инновационной активности: не только не создаются собственные инновации, но и заимствование иностранных технологий также незначительно.

Проанализировав модели для трех групп регионов, можно сделать вывод, что у каждой группы регионов обнаружены индивидуальные особенности, которые проявляются либо в степени воздействия того или иного фактора, либо в отсутствии/наличии его влияния, что актуализирует необходимость совершенствования региональной экономической политики для стимулирования инновационной деятельности на уровне конкретных регионов. Однако также существуют и общие для всех регионов факторы, обуславливающие их инновационное развитие, о чем косвенно свидетельствует и высокая объясняющая способность общей модели факторов, примененной к регионам. К числу таких показателей относятся доля ор-

ганизаций, выполнявших научные исследования и разработки, в общем числе организаций; логарифм численности сотрудников организаций, занятых исследованиями и разработками; логарифм прямых иностранных инвестиций.

При этом по абсолютным значениям коэффициентов при первых двух названных переменных видно различие в величине их влияния в регионах различных типов. Третий фактор, прямые иностранные инвестиции, влияет положительно и равноэффективно на инновационную активность регионов всех типов, что обуславливает необходимость его дальнейшего подробного изучения с целью стимулирования на различных уровнях экономической политики.

#### **§4. Прогнозирование потенциала прямых зарубежных инвестиций как фактора инновационной активности**

Инвестиции являются ключевым элементом инновационного развития фирмы: они не только обеспечивают создание критически важных материальных и нематериальных активов фирм, но и повышают абсорбционную способность фирм к восприятию новых знаний и технологий. Эффективное внедрение инноваций, как правило, связано с необходимостью осуществления инвестиционных затрат, что обуславливает зависимость инновационной активности от инвестиционной. Инновационно активными являются только те фирмы, регионы и страны, в которых инвестиционная активность находится на высоком уровне.

В данном параграфе рассматривается специфический тип инвестиционной активности – прямые иностранные инвестиции (ПИИ). Специфика прямых иностранных инвестиций как фактора инновационной активности заключается в следующем. Во-первых, основной объем прямых иностранных инвестиций в мире осуществляется транснациональными корпорациями, в которые являются наиболее технологичными и инновационно активными субъектами мировой экономики. Во-вторых, прямые иностранные инвестиции являются одним из каналов появления в стране новых технологий и повышения объема выпуска инновационной продукции. В-третьих, обострение конкуренции на рынке в результате прямых иностранных инвестиций зачастую мотивирует национальные компании в принимающей экономике к собственному развитию, являясь стимулом для повышения эффективности собственного производства и внедрения инноваций.



Прямые иностранные инвестиции играют важнейшую роль в развитии мировой экономики. За последние три десятилетия потоки прямых иностранных инвестиций выросли в 26,3 раза, в то время как мировой ВВП за этот же период вырос в 5,8 раза [39]. В 2013 г. объем мировых потоков ПИИ составил 1,45 млрд долларов, что составляет 7,7 % международной торговли и 2 % мирового ВВП [40].

В современной мировой экономике наблюдается острая конкуренция между странами за потоки прямых иностранных инвестиций. Причина тому – положительные эффекты, которые ПИИ оказывают на принимающую экономику. В дополнение к прямым эффектам (рост ВВП, увеличение поступлений в бюджет, снижение безработицы и т. п.), прямые иностранные инвестиции в принимающей экономике также приводят к возникновению внешних эффектов, которые выражаются в диффузии знаний и технологий, росте спросе на полуфабрикаты, повышению квалификации рабочей силы и пр.

Прямые иностранные инвестиции в современной мировой экономике более концентрированы, чем производство товаров и услуг (табл. 3.9). Доля 27 крупнейших получателей прямых иностранных инвестиций (стран, которые привлекли более 100 млрд долларов в период 2001–2011 гг.) составляет 80 % от общего объема ПИИ в мире, в то время как доля этих стран в мировом ВВП составляет 74,7 % за тот же период. Кроме того, доля 23 крупнейших экспортеров ПИИ (стран, чьи компании инвестировали более 100 млрд долларов за период 2001–2011 гг.) составляет 91 % от мировых потоков ПИИ, в то время как их доля в мировом ВВП составляет только 77,4 %.

Если сравнить долю различных стран в мировом ВВП с их долей в мировых потоках ПИИ, то можно увидеть неоднозначные результаты (табл. 3.10) США, Италия и Япония имеют большую долю в мировом ВВП, чем в мировых потоках ПИИ. Доля Канады и Великобритании в мировых потоках ПИИ превышает их долю в мировом ВВП. Франция и Германия относительно много инвестируют за рубеж и относительно мало привлекают ПИИ. Страны, которые предоставляют специальный налоговый режим холдинговым компаниям (Нидерланды, Бельгия, Люксембург, Швейцария), а также новые индустриальные страны (Малайзия, Сингапур) занимают значительную долю в мировых потоках ПИИ. Конечно, офшорные страны занимают большую долю в мировых потоках ПИИ по сравнению с долей в мировом ВВП.

Таблица 3.9

**Доля крупнейших импортеров и экспортеров ПИИ в мировом  
объеме ПИИ и мировом ВВП, совокупно за 2001–2011 гг.**

<b>Страны</b>	<b>ПИИ, млрд дол- ларов</b>	<b>Доля в мировых потоках ПИИ, %</b>	<b>ВВП, млрд дол- ларов</b>	<b>Доля в мировом ВВП, %</b>
Все страны (237)	12 680,6	100,0	565 694,0	100,0
Страны, которые привлек- ли более 50 млрд долларов за период (44 страны)	11 303,0	89,1	508 647,0	89,9
Страны, которые привлек- ли более 100 млрд долла- ров за период (27 стран)	10 148,3	80,0	422 322,0	74,7
Страны, которые инвести- ровали более 50 млрд дол- ларов за период (33 страны)	12 416,0	96,1	480 204,8	84,9
Страны, которые инвести- ровали более 100 млрд дол- ларов за период (23 страны)	11 755,3	91,0	437 656,0	77,4

*Источник:* рассчитано авторами на основании [unctadstat.unctad.org](http://unctadstat.unctad.org) и [data.worldbank.org](http://data.worldbank.org)

Описанная выше картина говорит о том, что распределение ПИИ в мировой экономике не пропорционально экономическому размеру стран и, очевидно, подвержено влиянию прочих факторов. Определение этих факторов является важной научной проблемой.

В данном параграфе предлагается эконометрическая модель, которая объясняет межстрановые потоки ПИИ в современной мировой экономике. Используя построенную модель, авторами рассчитаны потенциальные значения ПИИ для основных стран-реципиентов, которые затем сопоставлены с фактическими значениями.

После решения проблемы нахождения корректной эконометрической модели и вычисления потенциальных значений ПИИ, в параграфе рассматривается случай отдельно взятой страны. Авторами рассчитаны и сопоставлены с фактическими значениями потенциальные объ-

емы ПИИ в российской экономике по отношению к различным странам-партнерам.

Российская экономика в качестве объекта для исследования выбрана по следующим причинам. Во-первых, Россия является крупнейшим реципиентом ПИИ среди посткоммунистических стран. Во-вторых, Россия является единственной посткоммунистической страной, которая не только привлекает большие объемы прямых иностранных инвестиций, но и является одним из крупнейших экспортеров ПИИ в мире. В-третьих, в настоящий момент наблюдается недостаток исследований, посвященных факторам, влияющим на притоки ПИИ в российскую экономику.

Описательная статистика не дает ответа на вопрос, успешна ли (и насколько успешна) российская экономика в вопросе привлечения прямых иностранных инвестиций. С одной стороны, Россия является одной из немногих развивающихся стран, чья доля в мировых притоках (2,75 %) и оттоках (2,64 %) ПИИ превышает ее долю в мировом ВВП (1,95 %). С другой стороны, объем накопленных ПИИ на душу населения в российской экономике является достаточно скромным по сравнению с развитыми странами (табл. 3.10).

Результаты данного параграфа вносят вклад в вопрос изучения потоков прямых иностранных инвестиций в мировой экономике по следующим основным направлениям. Во-первых, авторы дополняют известные исследования в области детерминант прямых иностранных инвестиций в мировой экономике. Для этого использована база данных, которая покрывает около 70 % потоком ПИИ в мировой экономике за период 2001–2011 г., а также использован метод псевдомаксимального правдоподобия Пуассона для оценивания эконометрической модели. Во-вторых, на основании результатов эконометрической оценки авторами рассчитаны потенциальные значения объемов прямых иностранных инвестиций для основных стран-реципиентов и произведено сравнение этих значений с фактическими объемами поступивших ПИИ. Показано, что объем поступивших ПИИ в российскую экономику превышает потенциальное значение в 1,72 раза. В-третьих, произведено сравнение фактических и потенциальных значений притоков ПИИ в российской экономике по основным странам-партнерам. Выявлено, что фактические объемы инвестиций из крупных развитых стран превышают их потенциальные значения, в то время как менее крупные и развитые страны «недоинвестируют» в российскую экономику.

Таблица 3.10

**Доля стран в мировом ВВП, мировых притоках и оттоках ПИИ  
(совокупно за 2001–2011 гг.)**

Страна	При- токи ПИИ, млн. дол- ларов	Доля в ми- ровом ВВП, %	Доля в миро- вых при- токах ПИИ, %	Доля в мировых оттоках ПИИ, %	ВВП на душу на- селения, в дол- ларах США	ПИИ на душу насе- ления, в дол- ларах США
Австралия	279,6	1,53	2,20	0,80	37 936	1 225
Бельгия	481,7	0,79	3,80	2,61	38 198	4 114
Бразилия	322,0	2,45	2,54	0,53	6 634	154
Канада	412,0	2,41	3,25	3,66	37 952	1 146
Китай	884,4	6,73	10,88	7,23	2 621	95
Франция	278,7	4,45	2,20	5,24	35 961	398
Германия	450,5	5,83	3,55	6,10	36 947	505
Дания	37,1	0,53	0,29	0,64	50 217	618
Индия	220,9	2,04	1,74	0,83	901	17
Италия	233,9	3,67	1,84	3,08	32 172	362
Япония	81,8	9,13	0,65	5,16	37 013	59
Южная Корея	103,4	1,74	0,82	1,21	18 636	196
Люксембург	103,6	0,08	0,82	1,29	86 923	19 923
Малайзия	59,4	0,34	0,47	0,60	6 570	206
Мексика	271,9	1,78	2,14	0,54	8 167	221
Нидерланды	356,6	1,39	2,81	4,70	43 622	1 981
<b>Россия</b>	<b>348,2</b>	<b>1,95</b>	<b>2,75</b>	<b>2,64</b>	<b>6 976</b>	<b>220</b>
Сингапур	306,5	0,31	2,42	1,48	34 398	6 043
Испания	393,9	2,35	3,11	4,68	27 246	809
Швейцария	208,9	0,89	1,65	3,50	60 337	2 517
Великобри- тания	935,7	4,51	7,38	8,62	37 941	1 392
США	1 858,6	25,89	14,66	20,03	43 960	558

Источник: рассчитано авторами на основании [unctadstat.unctad.org](http://unctadstat.unctad.org) и [data.worldbank.org](http://data.worldbank.org)

**Теоретические подходы к изучению факторов, влияющих  
на приток прямых иностранных инвестиций**

В настоящее время не существует отдельных микроэкономических теорий прямых иностранных инвестиций. Все теории ПИИ разработаны в рамках моделей международной торговли, где ПИИ представляют собой межстрановую миграцию капитала.

Классическая (теория Рикардо) и неоклассическая теория международной торговли (теория Хекшера – Олина – Самуэльсона) основываются на абсолютной мобильности капитала, из чего следует, что цена на него выравнивается в результате международной торговли (теорема о выравнивании цен на факторы производства). Это означает, что потоки прямых иностранных инвестиций в экономике относительно не значимы и при анализе международной торговли товарами могут не учитываться вовсе. Манделл рассматривает ПИИ в рамках неоклассической теории как результат установления барьеров в процесс торговли товарами [41]. Согласно модели Манделла, торговые издержки (пошлины и налог на экспорт) являются значимым фактором, влияющим на движение инвестиций между странами.

В середине 80-х гг. появились современные модели международной торговли, предполагающие несовершенную конкуренцию на рынках, возрастающую отдачу от масштаба производства, а также продуктовую дифференциацию. В данных работах ПИИ являются альтернативой международной торговле, из чего следует, что величина транспортных издержек является важным фактором, влияющим на решение фирм осуществить инвестиции за пределами своей страны.

Изучая факторы, влияющие на потоки ПИИ в рамках современных теорий, авторы выделяют факторы вертикальных (ориентированных на экономию издержек) и горизонтальных (ориентированных на поиск рынков сбыта) прямых иностранных инвестиций.

Вертикальные ПИИ рассматриваются в работах Хелпмана [42] и Хелпмана и Кругмана [43]. Детерминантом притока ПИИ в данном типе моделей в первую очередь является разница цен на факторы производства. Такой тип ПИИ возникает между странами с различной обеспеченностью факторами производства, а также между странами, находящимися на разных этапах экономического развития (развитые и развивающиеся страны).

Горизонтальные ПИИ рассматриваются в рамках моделей Маркузена [44, 45] и Маркузена и Венейблса [46]. Ключевым фактором прямых иностранных инвестиций в данных моделях являются размеры рынка принимающей и инвестирующей страны. К прочим существенным факторам относятся экономия от масштаба (как на уровне фирмы, так и на уровне завода), степень дифференциации товаров в отрасли.

Основным недостатком рассмотренных выше моделей прямых иностранных инвестиций является допущение об однородности фирм в экономике. В то же время известно, что в реальной экономике прямые иностранные инвестиции осуществляются только наиболее эффективными фирмами в отрасли [47]. С начала XXI в. интенсивно развиваются новейшие теории прямых иностранных инвестиций, связанные с моделированием неоднородности (гетерогенности) фирм в экономике.

Хелпман, Мелитц и Япл рассматривают влияние производительности фирмы на выбираемую ею форму внешнеэкономической экспансии [48]. Среди группы фирм, оперирующих на зарубежных рынках, менее производительные выбирают экспорт, а более производительные осуществляют ПИИ. Таким образом, авторы показывают, что производительность фирмы оказывает важнейшее влияние на осуществление фирмой инвестиций за рубежом. Поскольку модели с гетерогенными фирмами формулируются в рамках моделей монополистической конкуренции, то значимыми факторами ПИИ в экономике также являются величина транспортных издержек, размер рынка стран, степень дифференциации товаров в отрасли. Если Хелпман, Мелитц и Япл рассматривают горизонтальные ПИИ в своей работе, то Гроссман, Хелпман и Зайдл показывает, что производительность фирм также влияет на решение фирм осуществлять вертикальные ПИИ [49].

Таким образом, в классических моделях основным фактором, влияющим на решение фирм осуществлять инвестиции за рубеж, являются транспортные издержки. В современных теориях была дополнительно обоснована значимость таких факторов, как размеры рынка обеих стран, стоимость факторов производства в странах, степень дифференциации товаров в отрасли. Наконец, в новейших теориях был выявлен еще один фактор ПИИ – уровень производительности фирмы, которая осуществляет инвестиции. Рассмотренные в этом параграфе модели могут быть использованы для идентификации переменных, применяемых для объяснения структуры и динамики ПИИ в рамках моделей гравитационного типа.

**Методологические основы исследования факторов, влияющих на приток прямых иностранных инвестиций**

Использование гравитационной модели применительно к экономическим процессам было впервые предложено Тинбергеном при исследовании международных торговых потоков [50]. Применительно к прямым иностранным инвестициям данная модель была впервые применена Брейнардом [51] и в общем виде может быть представлена следующим образом:

$$F_{ij} = \frac{M_i M_j}{D_{ij}}, \quad (3.18)$$

где  $F_{ij}$  – поток ПИИ из страны  $j$  в страну  $i$ ;  $M_i$  и  $M_j$  – показатель, характеризующий размеры стран  $i$  и  $j$  (чаще всего ВВП);  $D_{ij}$  – расстояние между странами.

Кроме расстояния и размера стран, на величину потоков ПИИ может оказывать влияние большое количество факторов, которые можно разделить на несколько групп. К первой группе можно отнести экономические факторы: открытость страны – импортера ПИИ [52, 53], инфляция [54], уровень государственных расходов [55], затраты на единицу труда [34], объем внешней торговли [56], уровень налогов [57] и т. п. Во вторую группу можно отнести показатели, которые характеризует культурную схожесть между двумя странами: наличие общего языка [57], общей границы [58] и др. В третью группу можно выделить институциональные факторы: уровень политической стабильности [59], уровень коррупции [60], уровень научных разработок в стране [61], степень защищенности инвестора [62].

Традиционно гравитационную модель, объясняющую межстрановые потоки ПИИ, принято оценивать в логарифмическом виде. Однако в связи с этим возникает ряд технических трудностей, связанных с особенностями данных по прямым иностранным инвестициям: данные потоков содержат большое количество пропущенных значений и нулей, а также отрицательных значений. Проблема заключается в том, что взятие логарифма означает удаление этих наблюдений, так как функция логарифма не определена в области отрицательных и нулевых значений. Кроме того, логарифмические спецификации часто являются гетероскедастичными. Так как в гравитационную модель невозможно и нецелесообразно включать абсолютно все факторы, которые могут влиять на приток прямых иностранных инвестиций в страну, то присутствует проблема ненаблюда-

емой гетерогенности, то есть существуют неучтенные корреляции наблюдаемых и ненаблюдаемых переменных.

Методы эконометрического оценивания, которые могут применяться к гравитационным моделям, можно разделить на два вида: линейные и нелинейные.

Самым простым линейным методом является метод наименьших квадратов, который применяется к стандартной линейной регрессии, получаемой после логарифмирования гравитационного уравнения. В результате применения данного метода оценки получают смещенными и несостоятельными вследствие потери значительной части данных, наличия гетероскедастичности и ненаблюдаемой гетерогенности. Несмотря на то, что данный метод является не самым эффективным для оценивания гравитационных моделей, он используется во многих исследованиях [58, 63, 64].

Для оценивания гравитационной модели могут использоваться пространственные и панельные данные. Использование пространственных данных накладывает существенные ограничения на эффективность модели, так как предполагается, что поток ПИИ не меняется во времени [65]. Если это предположение не выполняется, результатом оценки являются неверные значения коэффициентов. Другой вариант оценивания – это использование панельных данных, что, в частности, позволяет учитывать специфические страновые эффекты. Для идентификации и тестирования временных и страновых особенностей используются методы с фиксированными и случайными эффектами.

Главным аргументом в пользу использования моделей с фиксированными эффектами является несостоятельные результаты оценивания регрессии методом наименьших квадратов. Так, Чен и Уолл утверждают, что включение фиксированных эффектов в гравитационную модель позволяет контролировать гетерогенные торговые отношения [66]. В частности, они оценивают модель с фиксированными эффектами, чтобы исключить гетерогенное смещение, присущее другим методам.

Существует ряд исследований, в которых утверждается, что при наличии переменной расстояния в модели неприемлемо использовать как модель с фиксированными эффектами (поскольку в регрессию включены не изменяющиеся во времени переменные), так и модель со случайными эффектами (поскольку индивидуальные эффекты могут коррелировать с некоторыми объясняющими переменными) [57, 67]. Для решения данных проблем авторы предлагают использовать подход Хаусмана – Тэйлора.



Среди нелинейных методов оценивания гравитационных моделей наиболее часто используются нелинейный метод наименьших квадратов, обобщенный метод наименьших квадратов, двушаговая процедура Хекмана, гамма-метод псевдомаксимального правдоподобия и Пуассоновский метод псевдомаксимального правдоподобия. Для этих методов рассматривается не лог-линеаризованный вид гравитационного уравнения, а модель с постоянной эластичностью вида:

$$y_i = \exp(x_i\beta) + \varepsilon_i, \text{ где } E[\varepsilon_i|x] = 0.$$

В эконометрических исследованиях гравитационной модели часто используется Пуассоновский метод псевдомаксимального правдоподобия (ПМПП), использованный Силвой и Тенрейро применительно к торговым потокам [68]. Данный метод решает основные проблемы, возникающие при тестировании гравитационной модели (наличие большого числа нулей и гетероскедастичности), дает несмещенные и состоятельные оценки и является одним из наиболее предпочтительных. Силва и Тенрейро показали, что при наличии гетероскедастичности, оценивание лог-линеаризованной формы при помощи стандартного МНК приведет к несостоятельным оценкам, так как лог-линеаризация изменяет свойства ошибки, которая становится коррелированной с объясняющими переменными в присутствии гетероскедастичности.

Применительно к изучению потоков прямых иностранных инвестиций метод ПМПП был использован в нескольких работах. В исследовании Кляйнерта и Тубаля гравитационная модель тестируется применительно к трем теоретическим моделям, на основании которых были получены спецификации в виде гравитационного уравнения, которое авторы тестировали Пуассоновским методом псевдомаксимального правдоподобия [69]. Также методом ПМПП оценивал гравитационную модель в своих исследованиях Паниагуа [64], сравнивая его с методом наименьших квадратов и так называемым методом ХМР [70]. Автор приходит к выводу, что ПМПП является более чувствительным к нулевым потокам в отличие от метода ХМР. Кроме того, результаты оценки методом ХМР лишь незначительно отличаются от результатов оценки по методу наименьших квадратов. Результаты по Пуассоновскому методу псевдомаксимального правдоподобия ожидаемо отклоняются от результатов по МНК. Еще одним минусом метода ХМР является выбрасывание переменных для идентификационных целей. Паниагуа заключает, что использование ПМПП

представляется более целесообразным, чем метода ХРМ: результаты являются достаточно интуитивными и соответствуют теоретическим предпосылкам.

Все использованные в эконометрических исследованиях методы имеют свои преимущества и недостатки, выбор эффективного метода должен основываться на особенностях имеющихся данных и тех задачах, которые решаются при помощи гравитационных моделей.

#### **Методика и результаты эконометрического исследования**

Особенностью всех баз данных по межстрановым потокам прямых иностранных инвестиций является наличие в них отрицательных значений. В нашем случае они возникают по причине репатриации ранее сделанных инвестиций (возврат инвестиций проходит с отрицательным знаком). Очевидно, что стандартная логика «чем ниже ВВП пары стран и чем выше расстояние между ними, тем ниже ПИИ» не работает для отрицательных значений ПИИ, обусловленных репатриацией. Кроме того, большой объем репатрированных инвестиций из страны указывает на наличие большого притока инвестиций в эту страну в прошлом. Авторам данной монографии не известен подход, который бы решал указанную проблему. Одни исследователи [69, 63] исключают отрицательные значения из базы данных (что, естественно, не является решением проблемы), в то время как другие [52, 68] оценивают базу данных с отрицательными значениями. Указанный недостаток используемого подхода на имеющейся базе данных необходимо учитывать при анализе полученных результатов.

Для оценивания базы данных использовались две спецификации модели – в лог-линеаризованной форме и с постоянной эластичностью.

Зависимой переменной в обеих спецификациях выступает поток ПИИ из страны  $j$  в страну  $i$  в году  $t$  ( $fdi_{ijt}$ ). Выбор объясняющих переменных опирается на имеющийся в настоящее время массив эмпирических исследований, в которых на *ad hoc* основе (в условиях отсутствия общепризнанной теоретической модели ПИИ) предложен комплекс количественных показателей, отражающих влияние рассмотренных ранее в данной главе факторов. В качестве объясняющих переменных используются следующие показатели: ВВП стран, расстояние между столицами, открытость страны-импортера, относительные расстояния стран, наличие колониальной связи в прошлом и общего языка, среднемесячные заработные

платы. Рассмотрим основные гипотезы о характере влияния регрессоров на объясняемую переменную.

1. Поток ПИИ прямо пропорционален размеру импортирующей экономики ( $gdpimp_{it}$ , вычисленный как размер ВВП страны-импортера в году  $t$ ), поскольку иностранных инвесторов привлекает размер рынка страны, в которую они планируют осуществить инвестиции. На больших рынках иностранные компании получают более высокую прибыль не только за счет больших продаж, но и за счет возможности снизить свои средние издержки из-за возрастающей отдачи от масштаба.

2. Поток ПИИ прямо пропорционален размеру экспортирующей экономики ( $gdrex_{jt}$ , вычисленный как размер ВВП страны-экспортера в году  $t$ ), поскольку в больших по размеру странах присутствует большее число компаний, способных осуществлять инвестиции за рубеж. Кроме того, за счет возрастающей отдачи от масштаба эти компании являются более эффективными по сравнению с компаниями из стран меньшего размера.

3. Межстрановые объемы ПИИ связаны с расстоянием между странами ( $dist_{ij}$ , которое рассчитывается как расстояние между столицами двух стран) отрицательной взаимосвязью по двум причинам. Во-первых, увеличение расстояния ведет к росту издержек коммуникации между головной организацией и подразделением в другой стране. Во-вторых, с ростом расстояния, как правило, увеличиваются различия между странами, что делает более рискованными инвестиции между ними.

4. Еще одним фактором, связанным с уровнем ПИИ, является показатель «многостороннего сопротивления». Данный показатель характеризует отдаленность третьих стран от стран, между которыми осуществляются инвестиции. Прокси-переменная для многостороннего сопротивления рассчитывается следующим образом [71]:

$$remoteness_j = \sum_{j,j \neq i} \frac{dist_{ij}}{GDP_j} \cdot \frac{1}{GDP_W} \quad (3.19)$$

где  $GDP_j$  – ВВП  $j$ -й страны,  $GDP_W$  – суммарный ВВП всех оставшихся стран,  $dist_{ij}$  – расстояние между  $j$ -й и  $i$ -й странами.

Мы рассчитываем показатель многостороннего сопротивления как для страны – импортера ПИИ ( $remotimp$ ), так и для страны – экспортера ПИИ ( $remotexp$ ).

Многостороннее сопротивление для страны-импортера ПИИ – это мера отдаленности импортера ПИИ от всех других стран. Прокси-переменной для данного показателя выступает сумма относительных расстояний от экспортера ПИИ до всех остальных стран. Чем меньше это значение, тем больше стран вокруг экспортера и, соответственно, тем отдаленнее находится импортер ПИИ. Мы ожидаем наблюдать положительную зависимость между показателем *remotimp* и потоком ПИИ: чем меньше значение *remotimp* (чем более отдален импортер от всех стран), тем меньше туда направляются ПИИ (нет смысла экспортировать далеко: много стран рядом).

Многостороннее сопротивление для страны-экспортера – это мера отдаленности экспортера от всех других стран. Прокси-переменной для данного показателя выступает сумма относительных расстояний от импортера до всех остальных стран. Чем меньше это значение, тем больше стран вокруг импортера и, соответственно, тем отдаленнее находится экспортер ПИИ. Мы ожидаем наблюдать отрицательную зависимости между показателем *remotexp* и потоком ПИИ: чем меньше значение *remotexp* (чем более отдален экспортер от всех стран), тем больше он экспортирует (ему больше некуда экспортировать: рядом нет стран).

Использование показателя «многостороннего сопротивления» в качестве переменной, объясняющей потоки ПИИ, использовалось также в работах Чунлая [72], Хемкамона [73].

5. Уровень заработной платы в стране – импортере инвестиций ( $wage_{it}$ ) оказывает влияние на потоки ПИИ в страну, однако характер взаимосвязи может быть различным. С одной стороны, более высокие зарплаты означают более высокий уровень покупательской способности населения и должны стимулировать ПИИ в страну. С другой стороны, высокие зарплаты означают более высокие издержки для компаний, которые они несут при найме работников, что оказывает негативное влияние на потоки ПИИ.

6. Качество институтов в принимающей экономике является важным фактором для потоков ПИИ. Эффективные институты снижают стоимость организации бизнеса в стране. Мы измеряем качество институтов в стране с помощью индекса экономической свободы ( $ecfreed_{it}$ ), который ежегодно рассчитывается фондом Heritage Foundation. Индекс экономической свободы основывается на 10 факторах, сгруппированных в четыре широкие категории: верховенство закона, ограничения государственной власти, эффективность регуляторов и открытость рынков. Мы ожидаем,

что при прочих равных страны с более высоким значением данного индекса будут привлекать больше ПИИ.

7. Общая граница (дамми-переменная  $border_{ij}$ ) между странами увеличивает взаимные ПИИ вследствие высокого уровня сходства (социально-го, экономического, культурного) граничащих стран.

8. Общий национальный язык (дамми-переменная  $comlang_{ij}$ ) положительно влияет на потоки ПИИ между двумя странами. Наличие общего языка снижает издержки коммуникаций, упрощает ведение бизнеса, говорит о ментальной и культурной схожести стран.

9. Участие стран в региональных экономических объединениях (РИО, дамми-переменная  $reu_{ij}$ ) стимулирует инвестиционную активность между странами – членами РИО. Как правило, в результате учреждения РИО снижаются административные и *торговые барьеры между странами. Это делает бизнес внутри РИО проще и позволяет расти потокам ПИИ между странами. Мы ожидаем положительной корреляции между переменной  $reu_{ij}$  и потоками ПИИ.*

10. Наличие колониальной связи в прошлом (дамми-переменная  $comcol_{ij}$ ) должно положительно влиять на объем ПИИ между странами в силу наличия более тесных экономических и исторических связей между странами.

Для проведения эмпирического исследования использованы данные по 112 странам – экспортерам ПИИ и 47 странам – импортерам ПИИ за 2001–2011 гг. Общий объем наблюдений в выборке составляет 57 904. Данные по потокам прямых иностранных инвестиций получены с сайта ОЭСР, данные по ВВП получены с сайта Мирового банка, переменные расстояния и дамми-переменные (наличие общего языка, границы и колонии в прошлом, схожесть стран) заимствованы из базы данных, составленной Силва и Тенрейро.

Таким образом, мы оцениваем следующее регрессионное уравнение:

$$fdi_{ijt} = \exp(\alpha_1 \ln gdp_{imp_{it}} + \alpha_2 \ln gdp_{exp_{jt}} + \alpha_3 \ln dist_{ijt} + \alpha_4 \ln remote_{host_{it}} + \alpha_5 \ln remote_{home_{jt}} + \alpha_6 \ln wage_{it} + \alpha_7 \ln ec_{freed_{it}} + \alpha_8 border_{ij} + \alpha_9 comlang_{ij} + \alpha_{10} reu_{it} + \alpha_{11} comcol_{it}) + \varepsilon_{ijt}$$

Перейдем теперь к методам и результатам оценивания. Мы используем различные методы оценивания для того, чтобы убедиться в стабильности получаемых результатов.

Согласно стандартной процедуре оценивания панельных данных, надо рассмотреть объединенный МНК, панельные данные с фиксированными эффектами и панельные данные со случайными эффектами. Согласно *F*-тесту и тесту Бреуш – Пагана было выявлено, что в модели присутствуют как фиксированные, так и случайные эффекты. Тест Хаусмана показал, что для оценивания данной модели следует применять метод тестирования с фиксированными эффектами, хотя он и обладает рядом недостатков, исключая из рассмотрения не меняющиеся во времени переменные. Так как рассматривается лог-линеаризованная спецификация модели, то из рассмотрения удаляется около 70 % наблюдений. С целью сохранения данных в качестве объясняемой переменной рассматривается  $\ln(1+fdi)$ , что сокращает выборку примерно на 11 %. Результаты оценивания методами с фиксированными и случайными эффектами представлены в табл. 3.11.

Таблица 3.11

**Результаты оценки гравитационного уравнения методом  
панельной регрессии со случайными (Panel RE)  
и фиксированными эффектами (Panel FE)**

Переменная	Panel RE	Panel FE	Panel RE	Panel FE
Зависимая переменная	$\ln(FDI)$	$\ln(FDI)$	$\ln(1+FDI)$	$\ln(1+FDI)$
ВВП страны-импортера	0,574*** (0,037)	1,137*** (0,102)	0,320*** (0,014)	0,343*** (0,033)
ВВП страны-экспортера	0,596*** (0,023)	0,835*** (0,068)	0,337*** (0,009)	0,199*** (0,019)
Расстояние между странами	-0,939*** (0,079)	omitted	-0,632*** (0,035)	omitted
Относительное расстояние страны-импортера	0,026 (0,221)	omitted	-0,195*** (0,072)	omitted
Относительное расстояние страны-экспортера	0,117 (0,225)	omitted	0,101 (0,992)	omitted
Общий официальный язык	1,394*** (0,204)	omitted	0,606*** (0,092)	omitted
Уровень экономической свободы	1,194*** (0,322)	1,066*** (0,403)	0,411*** (0,101)	-0,113*** (0,116)

#### §4. Прогнозирование потенциала прямых зарубежных инвестиций

Общая граница	0,419(0,326)	omitted	1,948***(0,187)	omitted
Заработная плата в стране-импортере	0,206***(0,059)	-0,449***(0,111)	-0,166***(0,021)	0,002***(0,034)
Участие в региональных экономических объединениях	0,489***(0,072)	omitted	0,767***(0,034)	omitted
Общая колония в прошлом	0,554(0,608)	omitted	0,154(0,217)	omitted
Количество наблюдений	14463	14463	47972	47972
R-sq.	0,319	0,178	0,357	0,304

*Источник:* Составлено авторами на основании данных статистического пакета Стата. Коэффициенты, отмеченные \*\*\*, значимы на 1 %-м уровне. Стандартные ошибки приведены в скобках.

Оценивание гравитационной модели с постоянной эластичностью было впервые предложено Силвой и Тенрейро в качестве альтернативы лог-линеаризованной форме, с целью решения проблем гетероскедастичности и наличия большого количества нулевых потоков в выборке. Применительно к торговым потокам исследователями было показано, что применение к такой форме гравитационной модели Пуассоновского метода псевдомаксимального правдоподобия является самым целесообразным решением, так как этот метод является наиболее эффективным и дает несмещенные и состоятельные оценки в силу того, что из выборки не исключаются данные и структура ошибки не трансформируется, как в случае лог-линеаризованной формы. В пакете STATA для тестирования данных Пуассоновским методом существует две команды: `poisson` и `ppml`, но в силу определенных ограничений на некоторые команды внутри кода для этих двух команд оценивание отрицательных потоков ПИИ невозможно, хотя теоретические предпосылки данного метода не ограничивают работу с отрицательными потоками. Для того чтобы не удалять из выборки отрицательные значения, для тестирования панели применялся Пуассоновский метод псевдомаксимального правдоподобия с инструментальными переменными, где в качестве инструментов выступали все име-

ющиеся регрессоры, что позволило сохранить все значения потоков ПИИ. Для сравнения результатов модель тестировалась также и на усеченной выборке (без отрицательных значений потоков ПИИ) при помощи команды *poisson*. Для сравнения модель была протестирована и *tobit*-методом (табл. 3.12). Результаты также подтверждают предпосылки гравитационной модели.

Таблица 3.12

**Результаты оценки гравитационного уравнения методами Тобит, ПМПП, ПМПП с инструментальными переменными**

Переменная	Тобит	ПМПП	ПМПП с ИП
Зависимая переменная	$FDI > 0$	$FDI \geq 0$	$FDI$
ВВП страны-импортера	0,454***(0,018)	0,657***(0,028)	0,769***(0,043)
ВВП страны-экспортера	0,550***(0,011)	0,635***(0,022)	0,661***(0,032)
Расстояние между странами	-0,706***(0,034)	-0,677***(0,048)	-0,771***(0,065)
Относительное расстояние страны-импортера	0,516***(0,098)	0,601***(0,169)	0,933***(0,248)
Относительное расстояние страны-экспортера	-0,424***(0,095)	-0,981***(0,161)	-1,045***(0,210)
Общий официальный язык	1,213***(0,085)	0,870***(0,083)	1,010***(0,119)
Уровень экономической свободы	1,147***(0,226)	2,384***(0,365)	1,849***(0,478)
Общая граница	0,511***(0,121)	-0,375***(0,108)	-0,423***(0,156)
Заработная плата в стране-импортере	0,227***(0,036)	-0,012 (0,066)	-0,257***(0,088)
Участие в региональных экономических объединениях	0,702***(0,055)	0,696***(0,069)	0,588***(0,097)
Общая колония в прошлом	0,499***(0,245)	0,355(0,286)	0,586*(0,340)
Количество наблюдений	14463	47972	53710
$R$ -sq.	0,321	0,058	0,858
Pseudo $R$ -sq.	0,087	0,567	0,162

*Источник:* Составлено авторами на основании данных статистического пакета Стата. Коэффициенты, отмеченные \*\*\* (\*), значимы на 1 %-м (5 %-м) уровне. Стандартные ошибки приведены в скобках.



Следует отметить, что, так как в модель был включен институциональный фактор (индекс экономической свободы), следует принимать во внимание проблему эндогенности данной переменной. В нашем случае эндогенность возникает в силу одновременности процессов: увеличение потоков поступающих в страну ПИИ улучшает качество институтов в принимающей экономике, в то же время качество институтов само по себе является фактором привлечения ПИИ [74, 75]. В данном аспекте следует сказать, что ПМПП является интерпретацией обобщенного метода моментов (GMM) из множества методов максимального правдоподобия, а обобщенный метод моментов зачастую используется для коррекции смещения, вызванного эндогенностью объясняющих переменных. ПМПП с инструментальными переменными оценивает параметры Пуассоновской регрессионной модели, в которой некоторые регрессоры эндогенны. Модель также известна как модель экспоненциального условного среднего, в которой некоторые регрессоры подвержены эндогенности.

Почти все переменные оказались значимыми в оцениваемой модели. Помимо ожидаемого влияния ВВП и расстояния, было обнаружено, что относительные расстояния экспортера и импортера, а также уровень развития институтов в принимающей экономике, имеют ожидаемое влияние на приток ПИИ. Дамми-переменные для общего языка, участия в экономических объединениях, колониальных связей имеют положительное влияние на привлечение ПИИ в страну. Уровень среднемесячных заработных плат в принимающей экономике имеет обратную взаимосвязь с поступающими ПИИ. Этот результат можно объяснить тем, что инвестор рассматривает заработные платы в принимающей экономике как свои расходы на инвестиционные проекты. В противовес гипотезе об общей границе, данный фактор негативно влияет на приток ПИИ. Данный результат объясняется возможными территориальными приграничными конфликтами в прошлом, что является ограничивающим фактором привлечения инвестиций и экономической кооперации. Данный фактор имеет неоднозначный эффект и в работе [64]. Факторы экономической свободы и участия в экономических объединениях имеют ожидаемое положительное влияние на привлечение прямых иностранных инвестиций в страну.

### **Расчет потенциальных значений ПИИ**

Идея, связанная с расчетом потенциальных значений зависимой переменной в гравитационных моделях, впервые была использована применительно к торговым потокам. Существует два подхода к расчету торговых потенциалов. В соответствии с первым, именуемым «out-of-sample», расчет торговых потенциалов осуществляется на выборке стран, которые наиболее глубоко интегрированы в мировую экономику и функционируют на границе возможной эффективности. Разница между наблюдаемыми и предсказанными торговыми потоками интерпретируется как неиспользованный торговый потенциал. Второй подход, именуемый «in-sample», предполагает включение в выборку для расчета потенциалов всех стран в базе данных. Остатки в оцениваемом уравнении интерпретируются как разница между потенциальным и фактическим уровнем торговли [76].

В своей знаковой работе Еггер обсуждает преимущества и недостатки указанных подходов. Недостатком подхода in-sample является то, что значительные отклонения остатков в гравитационном уравнении могут являться не отклонением фактического объема торговли от потенциального значения, а признаком неверной спецификации модели. В то же время подход out-of-sample может быть использован только применительно к странам на раннем уровне их развития.

Поскольку Россия на данный момент не является в полной мере интегрированной в мировую экономику, как, например, Европейский союз или страны Юго-Восточной Азии, то мы можем ожидать значительный разрыв между потенциальными и фактическими значениями ПИИ при использовании подхода in-sample. Руководствуясь работами Еггера [76] и Шепотило [77], мы используем подход out-of-sample.

Используя коэффициенты перед объясняющими переменными в модели, оцененной методом IV PPML, нами рассчитаны совокупные значения потенциальных объемов притоков ПИИ в российскую экономику, а также потенциальные значения по отдельным странам-партнерам.

Рассчитанные потенциальные значения сопоставлены с реальными значениями притоков ПИИ. В левой части табл. 3.13 приведены страны, чьи фактические значения притоков ПИИ выше потенциальных. В правой части расположены те страны, чьи фактические ПИИ ниже потенциальных.

Таблица 3.13

**Отношение фактических значений притоков ПИИ к потенциальным**

<b>Фактические ПИИ больше потенциальных</b>		<b>Фактические ПИИ меньше потенциальных</b>	
Страна	Отношение	Страна	Отношение
Исландия	4,09	Венгрия	0,72
Бельгия	4,04	Дания	0,68
Бразилия	3,75	Италия	0,66
Индонезия	2,14	Австрия	0,64
Болгария	2,07	Южная Корея	0,63
Швеция	1,77	Чехия	0,62
Россия	1,72	Кипр	0,61
Франция	1,64	Германия	0,58
Испания	1,54	Литва	0,57
Польша	1,50	Греция	0,41
Швейцария	1,40	Новая Зеландия	0,37
Ирландия	1,37	Албания	0,35
Норвегия	1,29	Словения	0,28
Финляндия	1,27	Аргентина	0,26
Великобритания	1,19	Япония	0,19

*Источник:* рассчитано авторами.

Полученные результаты не позволяют нам выявить закономерности относительно одной или другой группы стран. Развитые страны присутствуют как в группе стран с нереализованным в полной мере потенциалом (Австрия, Германия, Япония, Италия), так и в группе стран с превышением фактического значения ПИИ над потенциальным (Бельгия, Великобритания, Норвегия, Франция). То же можно сказать относительно посткоммунистических стран: в первой группе оказались Польша и Болгария, в то время как во второй группе – Чехия, Венгрия и Литва.

Вместе с Бельгией, Исландией, Бразилией и Индонезией, Россия находится в группе стран, чьи фактические потоки ПИИ выше, чем потенциальные. За рассмотренный период фактические потоки ПИИ в российской экономике превышают потенциальные в 1,72 раза.

На первый взгляд, полученный результат выглядит удивительным, но у нас есть объяснение этому. Во-первых, необходимо помнить, что

российская экономика была крайне недоинвестирована в 90-е гг. XX в. (только 18 млрд долларов поступивших ПИИ в период 1990–1999 гг. по сравнению с 293 млрд долларов в период 2000–2010 гг.). После макроэкономической и политической стабилизации, последовавшей за кризисом 1998 г., российская экономика вошла в период быстрого роста и стала очень привлекательной для иностранных инвесторов по причине низкой конкуренции и емкого внутреннего рынка. Мы считаем, что очень высокий (по сравнению с предсказаниями модели) объем ПИИ в российскую экономику в первом десятилетии XXI века является формой «компенсации» за чрезвычайно низкие объемы ПИИ в последнем десятилетии XX века. Другим возможным объяснением высокого уровня ПИИ в российскую экономику является «популярность» России на мировой арене на протяжении рассматриваемого периода: вспомним решение 2007 г. провести Олимпийские игры в Сочи, решение 2010 г. о проведении в России чемпионата мира по футболу, попытка «перезагрузки отношений» между Россией и США в 2009 г., а также Евровидение и Универсиаду, проведенные в стране. В то время как Россия заявила о своих амбициях в качестве глобального игрока на международной арене, наиболее развитые страны резко охладели в плане инвестиций в нашу страну.

На следующем этапе исследования нами рассчитаны потенциальные значения притоков ПИИ в отношении основных стран-инвесторов в российскую экономику, а затем они сопоставлены с фактическими значениями. Результаты представлены в табл. 3.14, где в левой части расположены страны, чей фактический объем ПИИ превышает потенциальный, в правой части – страны с более низким уровнем ПИИ по сравнению с потенциальным.

Австрия, Великобритания, Швеция и Финляндия относятся к группе стран, инвестирующие «избыточные» объемы ПИИ в российскую экономику, в то время как Дания, Греция, Япония и Украина – это те страны, которые в наибольшем объеме «недоинвестируют» в Россию. Страны Юго-Восточной Азии (Китай, Южная Корея, Япония) также недоинвестируют в российскую экономику.

На основании данных табл. 3.14 можно заключить, что для наиболее крупных и развитых экономик характерно превышение фактических объемов ПИИ над потенциальными, в то время как для группы наименее крупных и развитых стран характерны ПИИ на уровне ниже потенциального. Инвестиции со стороны бывших республик СССР, равно как и бывших коммунистических стран, находятся на уровне ниже потенциального.

Таблица 3.14

**Отношение фактических значений притоков ПИИ к потенциальным  
для российской экономики**

<b>Фактические ПИИ больше потенциальных</b>		<b>Фактические ПИИ меньше потенциальных</b>	
Страна	Отношение	Страна	Отношение
Австрия	8,84	Южная Корея	0,56
Нидерланды	5,67	Испания	0,54
Швеция	4,67	Казахстан	0,50
Финляндия	4,44	Беларусь	0,48
Швейцария	4,19	Болгария	0,36
Франция	3,46	Чехия	0,30
Германия	3,00	Китай	0,28
Бельгия	2,54	Малайзия	0,28
Великобритания	2,45	Дания	0,26
Эстония	1,55	Греция	0,15
Латвия	1,49	Япония	0,15
Италия	1,19	Украина	0,14

*Источник:* рассчитано авторами.

Прямые иностранные инвестиции являются фактором инновационной активности национальной экономики. Инновационно активными являются те экономики, в которых инвестиционная активность находится на высоком уровне. Данный параграф посвящен анализу фактических и потенциальных объемов прямых иностранных инвестиций в российской экономике. Основой для исследования является гравитационный подход, примененный для оценки факторов, влияющих на межстрановые потоки ПИИ.

Для эмпирического анализа нами использована база данных, состоящая из 53 710 наблюдений с 44 странами-экспортерами и 112 странами – импортерами ПИИ.

На основании рассмотрения преимуществ и недостатков различных эконометрических методик оценивания уравнений гравитационного типа, мы приходим к выводу, что метод псевдомаксимального правдо-

подобия Пуассона с инструментальными переменными является наилучшим в нашем случае.

В построенной модели следующие переменные объясняют меж-страновые потоки ПИИ в мировой экономике: ВВП страны-инвестора и страны-реципиента, отдаленность страны-инвестора и страны-реципиента от третьих стран, уровень институционального развития и заработной платы в стране – реципиенте ПИИ, участие стран-партнеров в региональных экономических объединениях, наличие у стран общей границы, общего официального языка и колониальных связей в прошлом.

После определения оптимальной модели межстрановых потоков ПИИ мы рассчитываем потенциальные объемы притоков ПИИ для всех стран, а также для основных стран, инвестирующих в российскую экономику.

Рассчитанные потенциальные объемы сопоставляются с фактическими объемами и мы обнаруживаем, что Россия очень хорошо справлялась с задачей привлечения ПИИ в рассматриваемый период: фактические потоки превышают потенциальные в 1,72 раза. Поступающие объемы ПИИ из крупных развитых стран (Франции, Германии, Великобритании, Италии) превышают потенциальные значения, в то время как менее крупные и развитые страны (Чехия, Белоруссия, Дания, Украина) недоинвестируют в российскую экономику. Страны Юго-Восточной Азии (Китай, Южная Корея, Япония) также недоинвестируют в российскую экономику.

В контексте существенного ухудшения внешнеполитической обстановки прямые иностранные инвестиции в российскую экономику в обозримой перспективе будут существенно меньше уровня первого десятилетия XXI века. Проведенный анализ потенциальных объемов ПИИ стран, инвестирующих в российскую экономику, показывает, что, к сожалению, заменить инвестиции из европейских стран азиатскими (либо какими-то другими) не представляется возможным. В связи с этим основным фактором инновационного развития российской экономики в санкционный период могут являться только внутренние источники.

**Список библиографических ссылок**

1. Юрьева Л. В., Долженкова Е. В., Казакова М. А. Управленческий учет затрат на промышленных предприятиях в условиях инновационной экономики : монография. М. : РУСАЙНС, 2015. 290 с.
2. Гвишиани Д. М. Теоретико-методологические основания системных исследований и разработка проблем глобального развития // Системные исследования: Методологические проблемы : ежегодник: 1982. М. : Наука, 1982. С. 7–25.
3. Кузьмин В. П. Принцип системности в теории и методологии К. Маркса. 2-е изд. М. : Политиздат, 1986. 399 с.
4. Абдеев Р. Ф. Философия информационной цивилизации. М. : Владос, 1994. 336 с.
5. Винер Н. Творец и робот / пер. с англ. М. : Прогресс, 1966. 104 с.
6. Системный анализ в экономике и организации производства / под ред. С. А. Валуева, В. Н. Волковой. Л. : Политехника, 1991. 398 с.
7. Корилов А. М., Сафьянова Е. Н. Основы системного анализа и теории систем / под ред. Ф. П. Тарасенко. Томск : Изд-во Том. ун-та, 1989. 208 с.
8. Афанасьев В. Г. Системность и общество. М. : Политиздат, 1980. 368 с.
9. Садовский В. Н. Основания общей теории систем. М. : Наука, 1974. 279 с.
10. Дружинин В. В., Конторов Д. С. Проблемы системологии. М. : Сов. Радио, 1976. 295 с.
11. Миротин Л. Б., Таибаев Ы. Э. Системный анализ в логистике : учебник. М. : Изд-во «Экзамен», 2002. 480 с.
12. Сергеев В. И. Логистика в бизнесе : учебник. М. : ИНФРА-М, 2001. 608 с.
13. Cooke P. Regional innovation systems: competitive regulation in the new Europe // GeoForum. 1992. № 23. P. 365–382.
14. Malmberg A., Maskell P. Towards an explanation of regional specialization and industrial agglomeration // European Planning Studies. 1997. № 5 (1). P. 25–41.
15. Рогова Е. М., Ткаченко Е. А., Фияксель Э. А. Венчурный менеджмент : учеб. пособие. М. : Изд. дом Гос. ун-та – Высшей школы экономики, 2011. 440 с.
16. Корпоративная логистика. 300 ответов на вопросы профессионалов / под общ. и науч. ред. проф. В. И. Сергеева. М. : ИНФРА-М, 2004. 368 с.

17. *Манн Р., Майер Э.* Контроллинг для начинающих / пер. с нем. Ю. Г. Жукова ; под ред. и с предисл. д-ра экон. наук В. Б. Ивашкевича. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Финансы и статистика, 1995. 304 с.

18. *Рябых К. С.* Формирование механизма управления устойчивостью развития предприятия на основе внедрения инноваций : автореф. ... дис. канд. экон. наук. Орел, 2014. 23 с.

19. *Долженкова Е. В., Казакова М. А.* Комплементарный и синергетический подходы к инновационному развитию социально-экономических систем // Экономика и предпринимательство. 2015. № 10 (Ч. 2). С. 559–563.

20. *Мансурова А. Р.* Анализ сделок слияний и поглощений // Молодой ученый. 2017. № 14. С. 383–386.

21. *Кристофер М.* Логистика и управление цепочками поставок / под общ. ред. В. С. Лукинского. СПб. : Питер, 2004. 316 с.

22. *Юрьева Л. В., Долженкова Е. В.* Экономико-математическая модель мониторинга инновационной деятельности промышленного предприятия (тезисы доклада) // Международный экономический симпозиум – 2017 : материалы международ. науч. конф. 20–21 апреля 2017 г.: Международ. конф. молодых ученых-экономистов «Развитие современной экономики России», IV Международ. науч.-практ. конф. «Устойчивое развитие: общество и экономика», IV Международ. науч. конф.: Соколовские чтения «Бухгалтерский учет: взгляд из прошлого в будущее» / ред. кол.: О. Л. Маргания, С. А. Белозеров и др. СПб. : Скифия-принт, 2017. 676 с.

23. *Штерцер Т. А.* Эмпирический анализ факторов инновационной активности в субъектах РФ // Вестн. НГУ. 2005. Т. 5. Вып. 2. С. 100–109.

24. *Дежина И. Г., Киселева В. В.* Государство, наука и бизнес в инновационной системе России. М. : ИЭПП, 2008. 227 с.

25. *Serven L., Calderon C.* The effects of infrastructure development on growth and income distribution // World Bank Policy Research Working Paper. 2004. № 3400. 43 p.

26. *Румянцев А. А., Федотов Ю. В.* Экономико-статистический анализ результатов инновационной деятельности в промышленности Санкт-Петербурга // Вестн. С.-Петерб. ун-та. 2007. № 8 (1). С. 146–148.

27. *Perez-Amaral T., Gallo G. M., White H.* A flexible tool for model building: The relevant transformation of the inputs network approach (RETINA) // Oxford Bulletin of Economics and Statistics. 2003. № 65 (1). P. 13–46.



28. *Sin C.-Y., White H.* Information criteria for selecting possibly misspecified parametric models // J. of Econometrics. 1996. № 71 (1–2). P. 207–225.
29. *Носко В. П.* Эконометрика: Введение в регрессионный анализ временных рядов. М. : МФТИ, 2002. 273 с.
30. *Goffe W. L., Ferrier G., Rogers J.* Global optimization of statistical functions with simulated annealing // J. of Econometrics. 1994. № 60. P. 65–99.
31. *Gilli M., Winker P.* A Review of Heuristic Optimization Methods in Econometrics // Swiss Finance Institute Research Paper. 2008. № 08–12. 47 p.
32. *Dueck G., Scheuer T.* Threshold Accepting. A General Purpose Optimization Algorithm Superior to Simulated Annealing // J. of Computational Physics. 1990. P. 161–175.
33. *Winker P.* Optimization Heuristics in Econometrics: Applications of Threshold Accepting. Wiley, Chichester, 2001. P. 121–134.
34. *Holland J. H.* Adaptation in natural and artificial systems. University of Michigan Press, Ann Arbor, 1975. P. 170–192.
35. *Ратникова Т. А.* Введение в эконометрический анализ панельных данных // Экон. журнал ВШЭ. 2006. № 2. С. 277–316.
36. *Игнатьева Е. Д., Мариев О. С.* Методологические основы анализа устойчивости развития региональных социально-экономических систем // Вестн. УГТУ-УПИ. 2008. № 5. С. 56–66.
37. *Нехода Е. В.* Трансформация труда и социально-трудовых отношений в условиях перехода к постиндустриальному обществу // Вестн. Томск. гос. ун-та. 2007. № 302. С. 160–166.
38. *Фаузер В. В.* Теоретические и концептуальные подходы к развитию Севера России // Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера. 2008. № 4. С. 21–26.
39. WORLD INVESTMENT REPORT. Non-equity modes of international production and development. UNCTAD, 2011.
40. WORLD INVESTMENT REPORT. Investing in the SDGs: an action plan. UNCTAD, 2014.
41. *Mundell R.* International Trade and Factor Mobility // American Economic Review. 1957. № 47. P. 17–29.
42. *Helpman E.* A Simple Theory of International Trade with Multinational Corporations // J. of Political Economy. 1984. № 92 (3). P. 451–471.
43. *Helpman E., Krugman P.* Market Structure and Foreign Trade // Cambridge. MA, 1985. P. 342–376.

44. *Markusen J.* Multinationals, multi-plant economies, and the gains from trade. // *Journal of International Economics*. 1984. Vol. 16. P. 341–356.
45. *Markusen J.* Multinational Firms and the Theory of International Trade. Cambridge, MA: MIT Press, 2002.
46. *Markusen J., Venables A.* Multinational firms and the new trade theory // *J. of International Economics*. 1998. № 46. P. 183–203.
47. *Дранкин И. М.* Международная торговля, прямые иностранные инвестиции и агломерационные эффекты в условиях гетерогенности // *Изв. Урал. гос. ун-та. Сер. 3: Общественные науки*. 2010. № 2 (77). С. 99–114.
48. *Helpman E., Melitz M., Yeaple S.* Export Versus FDI with Heterogeneous Firms // *American Economic Review*. 2004. № 94 (1). P. 300–316.
49. *Grossman G., Helpman E., Szeidl A.* Optimal integration strategies for the multinational firm // *J. of international economics*. 2006. № 70 (1). P. 216–238.
50. *Tinbergen J.* An Analysis of World Trade Flows. Shaping the World Economy. New York, NY : Twentieth Century Fund, 1962.
51. *Brainard S.* An Empirical Assessment of the Proximity- Concentration Trade-off Between Multinational Sales and Trade // *American Economic Review*. 1997. № 87 (4). P. 520–544.
52. *Kristjansdottir H.* Determinants of Exports and Foreign Direct Investment in a Small Open Economy // Ph. D. Dissertation. University of Iceland. Faculty of Business and Economics, 2004.
53. *Talamo G.* Institution, FDI and the Gravity Model // University of Palermo, Department of Political Studies. Working Paper, 2003.
54. *Leibrecht M., Riedl A.* Modeling FDI based on a spatially augmented gravity model: Evidence for Central and Eastern European Countries // Working Paper Series in Economics. 2012. 239 p.
55. *Azeem S., Hussain H., Hussain R.* The determinants of foreign investment in Pakistan: a gravity model analysis. Log Forum // *Scientific J. of Logistics*. 2012. № 8 (2). P. 81–97.
56. *Çevis I., Çamurdan B.* The Economic Determinants of Foreign Direct Investment in Developing Countries and Transition Economies // *The Pakistan Development Review*. 2007. № 46 (3). P. 13–47.
57. *Folfas P.* FDI between EU member states: gravity model and taxes. Working paper, 2011.
58. *Africano A.* FDI and Trade in Portugal: a gravity analysis // *Research Work in Progress*. 2005. № 174. P. 1–24.

59. *Sova R., Albu L., Stancu I., Sova A.* Patterns of foreign direct investment in the new EU countries // *Romanian J. of Economic Forecasting*. 2009. № 6. P. 42–51.
60. *Kayam S., Hisarciklilar M.* Revisiting the investment developing path (IDP): a nonlinear fluctuation approach // *International J. of Applied Econometrics and Quantitative Studies*. 2009. № 6 (2). P. 63–82.
61. *Bormann C., Jungnickel R., Keller D.* What gravity models can tell us about the position of German FDI in Central and Eastern Europe // *HWWA discussion paper*. 2005. P. 1–34.
62. *Pagano M., Volpin P.* Managers, Workers and Corporate Control // *J. of Finance*. 2005. № 60 (2). P. 841–68.
63. *Ledyeva S., Linden M.* Testing for Foreign Direct Investment gravity model for Russian regions. Department of Business and Economics. University of Joensuu // *Working paper*. 2006. № 32.
64. *Paniagua J.* FDI Gravity Equation: Models, Estimations and Zeros // *Catholic University of Valencia. Working Paper*, 2011.
65. *Màtyàs L.* The Gravity Model: Some Econometric Considerations // *The World Economy*. 1998. № 21. P. 397–401.
66. *Cheng I.-H., Wall H. J.* Controlling for heterogeneity in gravity models of trade and integration // *Federal Reserve Bank of St. Louis Review*. 2005. № 87 (1). P. 49–63.
67. *Egger P., Pfaffermayr M.* Distance, trade and FDI: a SUR Hausman-Taylor approach // *J. of Applied Econometrics*. 2004. № 19 (2). P. 227–246.
68. *Silva S., Tenreyro J.* The log of gravity // *The Review of Economics and Statistics*. 2006. № 88 (4). P. 641–658.
69. *Kleinert J., Toubal F.* Gravity for FDI // *Review of International Economics*. 2010. № 18 (1). P. 1–13.
70. *Helpman E., Melitz M., Rubinstein Y.* Estimating trade flows: Trading partners and trading volumes // *Quarterly J. of Economics*. 2008. № 123. P. 441–487.
71. *Gómez E., Milgram J.* Are estimation techniques neutral to estimate gravity equations? An application to the impact of EMU on third countries' exports // *Mimeo*, 2010.
72. *Chunlai C.* Foreign direct investment in China: location determinants, investor differences and economic impacts. Edward Elgar, Cheltenham, UK and Northampton, MA, USA, 2011. 307 p.

73. *Hemkamon K.* Determinants of the trade and investment in Southeast Asia: an application of the gravity trade model // A thesis submitted to the University of Birmingham for the degree of doctor philosophy, 2007.

74. *Ali F. A., Fiess N., Macdonald R.* Do Institutions Matter for Foreign Direct Investment? // *Open Economies Review*. 2010. Vol. 21. Iss. 2. P. 201–219.

75. *Francois J., Manchin M.* Institutions, Infrastructure, and Trade // *World Development*. 2013. № 46. P. 165–175.

76. *Egger P.* An Econometric View of the Estimation of Gravity Models and the Calculation of Trade Potentials // *World Economy* 2002. № 25 (2). P. 297–312.

77. *Shepotylo O.* Gravity with Zeros: Estimating Trade Potential of CIS Countries // Working Paper, 2009.

**Социально-экономические показатели, охваченные исследованием**

<b>Группа факторов</b>	<b>Показатель</b>
<b>Развитие человеческого капитала</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Логарифм ВРП</li> <li>– Логарифм доходов консолидированного бюджета субъекта РФ</li> <li>– Доля численности занятого населения в общей численности населения региона</li> <li>– Доля городского населения в общей численности населения региона</li> <li>– Доля безработных в общей численности экономически активного населения</li> <li>– Логарифм числа зарегистрированных преступлений на 100 000 чел.</li> <li>– Доля организаций, выполнявших научные исследования и разработки, в общем числе организаций</li> <li>– Логарифм сальдированного финансового результата предприятий</li> <li>– Логарифм объема инвестиций в основной капитал организаций: здравоохранение</li> <li>– Логарифм объема инвестиций в основной капитал организаций: образование</li> <li>– Доля выпускников государственных и муниципальных вузов в общей численности населения региона</li> <li>– Доля выпускников негосударственных вузов в общей численности населения региона</li> <li>– Доля выпускников государственных и муниципальных вузов в общем выпуске специалистов вузами</li> <li>– Доля выпускников государственных и муниципальных специальных учебных заведений в общей численности населения региона</li> <li>– Доля выпускников негосударственных специальных учебных заведений в общей численности населения региона</li> <li>– Доля выпускников государственных и муниципальных средних специальных учебных заведений в общем выпуске специалистов средними специальными учебными заведениями</li> <li>– Логарифм численности сотрудников организаций, занятых исследованиями и разработками</li> </ul>

<b>Условия для развития конкуренции</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Доля малых предприятий в регионе</li> <li>– Доля кредитных организаций в общем числе организаций в регионе</li> <li>– Доля филиалов кредитных организаций в общем числе организаций в регионе</li> <li>– Логарифм задолженности организаций по кредитам (в рублях)</li> <li>– Логарифм задолженности организаций по кредитам (в иностранной валюте)</li> </ul>
<b>Инвестиционная активность</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Логарифм валового накопления основного капитала</li> <li>– Логарифм объема прямых иностранных инвестиций</li> <li>– Логарифм объема портфельных иностранных инвестиций</li> <li>– Логарифм объема прочих иностранных инвестиций</li> <li>– Доля государственных инвестиций в основной капитал</li> <li>– Доля муниципальных инвестиций в основной капитал</li> <li>– Доля частных инвестиций в основной капитал</li> <li>– Доля собственных инвестиций в основной капитал</li> <li>– Логарифм объема инвестиций в основной капитал организаций</li> <li>– Логарифм объема инвестиций в основной капитал организаций: строительство</li> <li>– Логарифм объема инвестиций в основной капитал организаций: сельское хозяйство</li> <li>– Логарифм объема инвестиций в основной капитал организаций: транспорт</li> <li>– Логарифм объема инвестиций в основной капитал организаций: связь</li> <li>– Логарифм объема инвестиций в основной капитал организаций: торговля</li> </ul>
<b>Уровень развития инфраструктуры</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Логарифм числа телефонных аппаратов сети общего пользования на 1 000 человек населения</li> <li>– Логарифм густоты железнодорожных путей общего пользования (км путей на 10 000 кв. км территории)</li> <li>– Логарифм густоты автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием (км дорог на 1000 кв. км территории)</li> <li>– Логарифм объема отправления грузов железнодорожным транспортом общего пользования</li> <li>– Логарифм объема перевозки грузов автомобильным транспортом общего пользования</li> </ul>

## Приложение

<b>Степень вовлечен- ности в ВЭД</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Доля экспорта в страны дальнего зарубежья в ВРП</li> <li>– Доля импорта из стран дальнего зарубежья в ВРП</li> <li>– Доля экспорта в страны СНГ в ВРП</li> <li>– Доля импорта из стран СНГ в ВРП</li> <li>– Логарифм числа соглашений на экспорт технологий и услуг технического характера</li> <li>– Логарифм стоимости предмета соглашений на экспорт технологий и услуг</li> <li>– Логарифм поступления средств от экспорта технологий и услуг</li> <li>– Логарифм числа соглашений на импорт технологий и услуг</li> <li>– Логарифм стоимости предмета соглашений на импорт технологий и услуг</li> <li>– Логарифм выплат средств за импорт технологий и услуг</li> </ul>
--	--

**Регионы, охваченные исследованием**

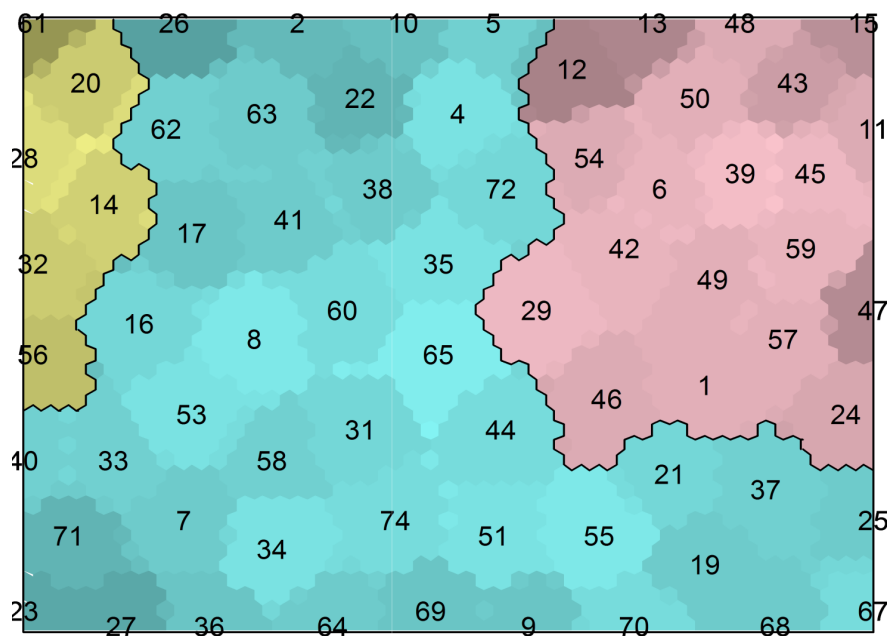
Наименование субъекта РФ	Номер региона в СОК
Алтайский край	1
Амурская область	2
Астраханская область	4
Белгородская область	5
Брянская область	6
Челябинская область	7
Иркутская область	8
Ивановская область	9
Еврейская автономная область	10
Кабардино-Балкарская Республика	11
Калининградская область	12
Калужская область	13
Камчатский край	14
Карачаево-Черкесская Республика	15
Кемеровская область	16
Хабаровский край	17
Кировская область	19
Республика Коми	20
Костромская область	21
Краснодарский край	22
Красноярский край	23
Курганская область	24
Курская область	25
Ленинградская область	26
Липецкая область	27
Магаданская область	28
Республика Марий Эл	29
Московская область	31
Мурманская область	32
Нижегородская область	33
Новгородская область	34
Новосибирская область	35
Омская область	36



## Приложение

Орловская область	37
Оренбургская область	38
Пензенская область	39
Пермский край	40
Приморский край	41
Псковская область	42
Республика Адыгея	43
Республика Башкортостан	44
Республика Бурятия	45
Чувашская Республика	46
Республика Дагестан	47
Республика Мордовия	48
Республика Северная Осетия-Алания	49
Ростовская область	50
Рязанская область	51
Самарская область	53
Саратовская область	54
Смоленская область	55
Санкт-Петербург	56
Ставропольский край	57
Свердловская область	58
Тамбовская область	59
Республика Карелия	60
Республика Саха (Якутия)	61
Республика Татарстан	62
Томская область	63
Тульская область	64
Тверская область	65
Удмуртская Республика	67
Ульяновская область	68
Владимирская область	69
Волгоградская область	70
Вологодская область	71
Воронежская область	72
Ярославская область	74

**Результаты СОК Кохонена: деление регионов на три группы**



**Деление регионов на три группы с использованием карт Кохонена**

<b>Группа 1</b>	<b>Группа 2</b>	<b>Группа 3</b>
Амурская область Астраханская область Белгородская область Челябинская область Иркутская область Ивановская область Еврейская автономная область Кемеровская область Хабаровский край Кировская область Костромская область Краснодарский край Красноярский край Курская область Ленинградская область Липецкая область Московская область Нижегородская область Новгородская область Новосибирская область Омская область Орловская область Оренбургская область Пермский край Приморский край Республика Башкортостан Рязанская область Самарская область Смоленская область Свердловская область Республика Карелия	Псковская область Республика Адыгея Республика Бурятия Чувашская Республика Республика Дагестан Республика Мордовия Республика Северная Осетия-Алания Ростовская область Саратовская область Ставропольский край Тамбовская область	Камчатский край Республика Коми Магаданская область Мурманская область Санкт-Петербург Республика Саха (Якутия)

### Глава 3. Проектирование инновационной системы на макро- и мезоуровне

Республика Татарстан Томская область Тульская область Тверская область Удмуртская Республика Ульяновская область Владимирская область Волгоградская область Вологодская область Воронежская область Ярославская область		
--	--	--

## Глава 4

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ДИНАМИЧНОЙ ВНЕШНЕЙ И ВНУТРЕННЕЙ СРЕДЫ

### §1. Анализ социально-экономической системы образования

Интенсификация глобализационных процессов и формирование международного рынка труда оказывают значительное влияние на закономерности развития национальных систем профессионального образования. Результат данного влияния в России – проведение широкомасштабной реформы всей системы образования, завершающим этапом которой явилось принятие нового Федерального закона «Об образовании в Российской Федерации» (№ 273-ФЗ от 29 декабря 2012 г.).

Вступивший в силу 1 сентября 2013 г. закон существенно изменил структуру системы высшего образования в России, закрепив законодательно реализацию основных принципов Болонской декларации.

В качестве одной из целей вступления России в 2003 г. в Болонский процесс и принятия данного закона можно назвать, во-первых, поддержку формирования и присоединение к единому европейскому образовательному пространству, во-вторых, создание предпосылок для изменения роли страны в международном разделении труда и появления возможности интеграции в глобальный рынок труда.

Задача создания единой европейской образовательной системы, конкурентоспособной по отношению к другим глобальным образовательным системам (американской и азиатской), вынуждает менять подходы к организации функционирования системы отечественного профессионального образования, ориентирует ее на создание унифицированной, многоуровневой, «прозрачной» системы подготовки квалифицированных специалистов.

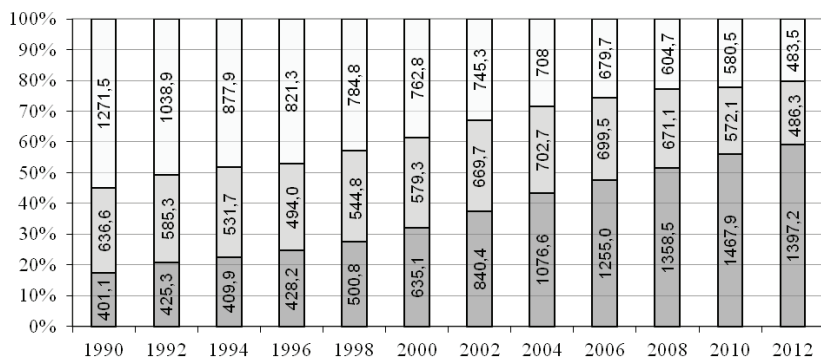
В настоящее время перед экономической наукой остро стоят вопросы об экономической обоснованности структуры образовательного процесса, соотношении спроса и предложения рынка труда и образовательных услуг, оптимизации деятельности высших учебных заведений в отношении привлечения выпускников школ на приоритетные для развития экономики специальности.

Актуальными проблемами остаются дисбаланс структуры выпускающих специальностей по уровням образования (высшее – среднее – начальное), слабая ориентированность учебных заведений на актуальные

потребности национальной экономики, что приводит к снижению эффективности системы профессионального образования (рис. 4.1).

Ежегодно увеличивается доля выпускников с высшим образованием, и снижается доля выпускников со средним специальным образованием, в 1990 г. выпускников со средним и начальным образованием было в 4,7 раз больше, чем выпускников высшим образованием, в 2012 г. выпускников с высшим образованием в 1,4 раз больше, чем выпускников со средним и начальным образованием.

Также одной из проблем российской экономики являются противоречия в предпочтениях индивидов в выборе образовательных траекторий и потребностями реального сектора экономики. Ярким примером этого являются периодические заявления представителей органов государственной власти и публикации в прессе о «перепроизводстве» юристов, экономистов и управленцев при остром дефиците рабочих кадров и специалистов со средним специальным техническим образованием. К 2012 г. количество выпускников с высшим образованием, обучавшихся по специальностям в области общественных и гуманитарных наук составило 73 % от общего выпуска, по экономике и управлению – 33 % (рис. 4.2).



- Выпуск квалифицированных рабочих и служащих с начальным профессиональным образованием, тыс. человек
- Выпуск специалистов государственными и негосударственными<sup>1</sup> средними специальными учебными заведениями, тыс. человек
- Выпуск специалистов государственными и негосударственными<sup>1</sup> высшими учебными заведениями, тыс. человек

*Примечание:* 1. Выпуск специалистов негосударственными высшими учебными заведениями на диаграмме представлен с 1994 г. 2. Выпуск специалистов негосударственными средними специальными учебными заведениями – с 2000 г.

Рис. 4.1. Структура выпуска специалистов по уровням профессионального образования (составлено по [1–5])

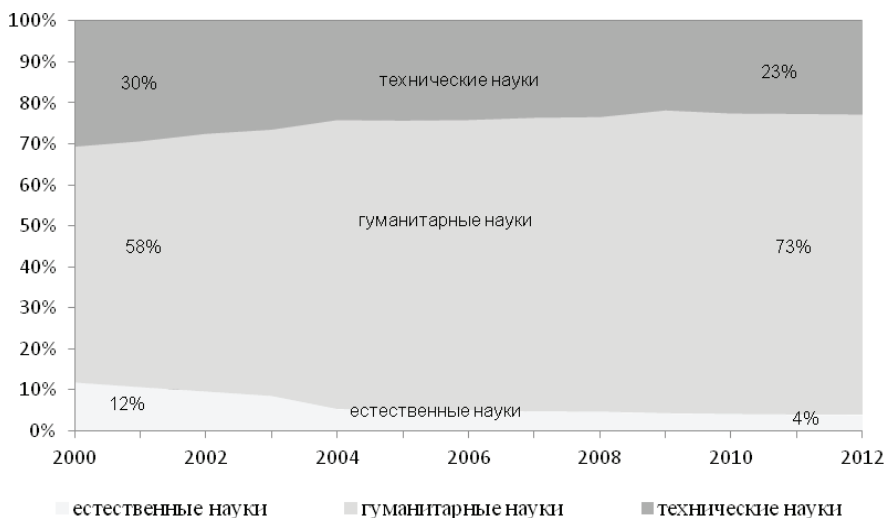


Рис. 4.2. Структура выпускающих специальностей системы высшего образования (составлено по [6, 7])

С объявлением цели о повышении конкурентоспособности российских вузов на международном уровне в системе высшего образования РФ начали формироваться укрупненные структуры. Федеральные вузы объединили в своем составе несколько региональных высших учебных заведений, так, например, Сибирский федеральный университет объединил пять университетов и один научно-исследовательский инженерный центр, Южный федеральный университет – три университета и одну академию, Приволжский федеральный университет – пять высших учебных заведений, Крымский федеральный университет – семь вузов, Уральский федеральный университет – два крупнейших вуза Свердловской области.

Вузы укрупняются не только за счет объединения университетов, но и активно включают в свой состав научно-исследовательские центры, что является относительно новой тенденцией для России в силу традиционного разделения образования и науки. Наиболее яркий пример объединения образовательной и научной среды демонстрирует Научно-исследовательский университет «Высшая школа экономики» (ВШЭ). Кроме присоединения к составу ВШЭ Московского государственного института электроники и математики (МИЭМ) в 2011 г., ВШЭ активно использует потенциал РАН: пять базовых кафедр РАН в области математики, компью-

терных и информационных наук, Институт энергетики созданы на базе подразделения РАН [8].

Объединение вузов связаны с тем, что последние стремятся занять высшие позиции в международных рейтингах. Помимо укрупнения высших учебных заведений с целью повышения своих показателей, действенным механизмом является концентрация государственных финансов в отобранных университетах: в России действует программа 5/100 [9], в Германии осуществлялись дополнительные вложения в размере 2,3 млрд долларов США только в 10 своих университетов, в то время как в стране существует 70 университетов и 167 колледжей; в Китае концентрация финансовых ресурсов затронула 34 университета более чем из 1 700 вузов [10].

В настоящее время в Российской Федерации высшие учебные заведения имеют следующую градацию:

- федеральный университет – ведущее высшее образовательное учреждение на территории федерального округа, центр науки и образования. По состоянию на 2014 г. в России действует 10 федеральных вузов [11];
- университет – многопрофильное учебное заведение с большим выбором учебных программ в самых разных областях знания;
- особый правовой статус как уникальные научно-образовательные комплексы, старейшие вузы страны, имеющие огромное значение для развития российского общества, имеют два университета: Московский государственный университет, Санкт-Петербургский государственный университет [12];
- национальный исследовательский университет – высшее учебное заведение, одинаково эффективно осуществляющее образовательную и научную деятельность на основе принципов интеграции науки и образования. Звание НИУ присуждается на десятилетний срок на конкурсной основе. В настоящее время в России существует 29 национальных исследовательских университетов [13–15];
- академия – готовит широкий круг специалистов какого-либо направления человеческой деятельности (сельское хозяйство, здравоохранение, искусство, туризм, экономика, финансы и т. п.);
- институт – занимается подготовкой специалистов для работы в определенной области профессиональной деятельности (рис. 4.3).

Помимо указанной градации, российские вузы можно классифицировать относительно ведомств, которым они подчинены. В настоя-



шее время все высшие учебные заведения в России находятся в ведении 23 федеральных органов исполнительной власти, наиболее крупными из которых, помимо Министерства образования и науки РФ (в ведомстве которого находятся 403 вуза [16]), являются: Министерство сельского хозяйства РФ – 59 вузов [17] (14,6 % от количества вузов Минобрнауки); Министерство здравоохранения и социального развития РФ – 46 вузов (11,4 %) [18], в данных вузах обучаются более 200 тысяч студентов; Министерство культуры и массовых коммуникаций РФ – 59 вузов [19] (14,6 %), в которых обучаются более 67 тысяч студентов. Подготовка специалистов с высшим образованием для транспортного комплекса России осуществляется на базе 20 отраслевых вузов, находящихся в ведении Министерства транспорта РФ по линии трех федеральных агентств [20].

Стремление создавать университеты «мирового класса» стало чем-то вроде глобальной одержимости в последнее десятилетие, поскольку правительства по всему миру определили развитие конкурентоспособных систем высшего образования и научных исследований как одно из важнейших направлений национальных экономических стратегий. В России, к примеру, президент Владимир Путин сделал его одной из ключевых задач политики, заявив, что пять российских вузов должны к 2020 г. войти в число 100 лучших университетов мира по данным международных рейтингов (программа топ 5/100), и 15 российских университетов должны будут попасть в топ-200 лучших вузов мира. В Японии президент Синдзо Абэ поставил задачу перед научным и образовательным сообществом о вхождении 10 университетов Японии в топ-100 к 2023 г. [21].

В настоящее время в 100 лучших университетов мира входят в основном вузы США и Великобритании. Так, например, за период с 2012–2015 гг. в топ-100 рейтинга QS вошло около 30 университетов США, 20 университетов Великобритании, в рейтинг ARWU – 52 вуза США и 10 Англии, в рейтинг THE – 45 вузов США, 10 – Великобритании. Кроме того, в рейтинг включены вузы Германии, Австралии, Японии и других стран, но количество вузов каждой страны в топ-100 не более 5.

Из всех российских вузов на данный момент в топ-100 входит только Московский государственный университет (по версии ARWU, THE) и Санкт-Петербургский государственный университет (по версии THE в 2014 г.), в топ-100 рейтинга QS российские вуз не входят (высшие позиции занимает МГУ, за все время присутствия в рейтинге QS максимальная позиция – 108 в 2015 и 2016 гг.). По мнению авторов, достаточно полный

аналитический отчет по присутствию вузов в международных рейтингах на 2016 г. представлен в статье А. Шаповаловой [22]. Однако стоит отметить, что авторы статьи придерживаются иной оценки доли науки в методиках рейтингования.



\*Московский государственный университет, Санкт-Петербургский государственный университет

Рис. 4.3. Структура системы высшего образования в Российской Федерации

Рейтинги позволяют ранжировать университеты по их научному и образовательному потенциалу, и как следствие первого, в университеты, которые занимают более высокие позиции в рейтинге, стремятся попасть большее количество абитуриентов, такая конкуренция между вузами актуальна в современных условиях демографической составляющей.

В настоящее время разработано большое количество российских и зарубежных рейтингов для разноплановой оценки высших учебных заведе-

ний. Главная цель всех систем оценок/рейтингов вузов – это проинформировать читательскую аудиторию средств массовой информации, особенно студентов и их родителей, о статусе университетов, а также отобразить ситуацию и тенденции, сложившиеся на рынке высшего образования в мире.

Для высших учебных заведений улучшение своих позиций в рейтинге является в какой-то мере показателем для привлечения большего количества студентов. С одной стороны, все рейтинги можно разделить на три группы, по субъекту составителя рейтинга:

- первая группа – рейтинг, составленный профессиональными ассоциациями (рейтинговыми агентствами). Целью составления данного рейтинга является ранжирование вузов по критерию их успешности в соответствии с комплексом показателей;

- вторая группа – рейтинг, составленный средствами массовой информации. Цель данного рейтинга схожа первой группой – ранжирование вузов, отличной остается принцип составления рейтингов;

- третья группа – рейтинг, составленный исполнительной властью. Цель составления данного рейтинга – это оценка эффективности вузов, то есть выявление вузов, которые отвечают или не отвечают установленным критериям органами государственной власти.

С другой стороны, рейтинги подразделяют по объекту исследований (табл. 4.1).

*Среди основных можно выделить:*

- интегральные рейтинги. Сводят в единый балл информацию по качественно несоизмеримым типам данных, приводя информацию к некоторому стандарту (Times Higher Education World University Ranking; QS World University Ranking; Academic Ranking of World Universities, рейтинг вузов «Эксперт-РА»);

- многофакторные рейтинги. Ранжирование вузов производится отдельно по типу данных (индикатору), без сведения в единый балл данных по разным типам информации (CWTS Leiden Ranking; Scimago Institution Ranking);

- наукометрические рейтинги. Основаны исключительно на библиометрической информации из таких информационно-аналитических систем, как Web of Science, Scopus, Google Scholar (CWTS Leiden Ranking; Scimago Institutions Ranking; URAP – University Ranking by Academic Performance; NTU Ranking – National Taiwan University Ranking);

- web-рейтинги измеряют сайты вузов, а не сами вузы. Такие рейтинги единственные, которые могут называться «глобальными» с точки зрения

пространственного охвата, поскольку включают в себя практически все вузы мира (Webometrics; International Colleges & Universities) и другие группы [23].

Таблица 4.1

**Классификация международных рейтингов**

<b>Классификационный признак</b>	<b>Наименование рейтинга</b>
Интегральные рейтинги	<ul style="list-style-type: none"> <li>• QS – QS World University Ranking</li> <li>• THE – Times Higher Education World University Ranking</li> <li>• ARWU – Academic Ranking of World Universities</li> <li>• UI Green Metrics World University Ranking</li> <li>• CWUR – Center for World University Rankings</li> <li>• GWC – Global World Communicator</li> <li>• RUR – Round University Ranking</li> </ul>
Многофакторные рейтинги	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CWTS Leiden Ranking</li> <li>• Scimago Institution Ranking</li> </ul>
Наукометрические рейтинги	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CWTS Leiden Ranking</li> <li>• Scimago Institutions Ranking</li> <li>• URAP – University Ranking by Academic Performance</li> <li>• NTU Ranking - National Taiwan University Ranking</li> </ul>
Web-рейтинги	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Webometrics</li> <li>• 4 International Colleges &amp; Universities</li> </ul>
Системы сравнения и классификации	<ul style="list-style-type: none"> <li>• U-Map</li> <li>• U-Multirank</li> <li>• CHE University Rankings</li> </ul>
Системы сравнения национальных систем образования	<ul style="list-style-type: none"> <li>• REF – Research Excellence Framework</li> <li>• AHELO – Assessment of Higher Education Learning Outcomes</li> <li>• U-21 Ranking - U21 Ranking of National Higher Education Systems</li> </ul>
Сравнение рейтингов	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IREG – Observatory on Academic Ranking and Excellence</li> </ul>

Среди ведущих зарубежных рейтингов можно отметить такие, как Academic Ranking of World Universities (ARWU или Шанхайский рейтинг)

Шанхайского университета (Shanghai Jiao Tong University), Times Higher Education (THE) University Rankings британского журнала, специализирующегося на вопросах высшего образования, QS University Rankings британской консалтинговой компании Quacquarelli Symonds, специализирующейся на международных образовательных программах; среди российских – Национальный рейтинг университетов (ИА «Интерфакс»), рейтинг вузов рейтингового агентства «Эксперт РА», рейтинг вузов, составляемый Министерством образования и науки РФ (Минобрнауки РФ) в рамках мониторинга эффективности образовательных организаций высшего образования и другие.

Главным отличием между отечественными и зарубежными рейтингами является процедура включения вузов. Если российские рейтинги оценивают высшие учебные заведения по своему выбору, то для того чтобы попасть в зарубежные рейтинги, университеты должны подать заявку (примером может являться включение вузов в рейтинги QS и THE).

Критерием эффективности работы вузов по оценкам всех ранее упомянутых рейтингов является попадание вуза в данный рейтинг и занимаемая в нем позиция.

Система оценки вузов, разработанная Министерством образования и науки РФ, отличается от остальных рейтинговых систем тем, что она оценивает эффективность работы российских вузов по заданным критериям, ориентированным на выявление неэффективных государственных образовательных учреждений и последующую их реорганизацию [24].

Составление различного рода рейтингов в настоящее время является широко распространенным и полемичным инструментом анализа, поэтому и подходы к рейтингованию высших учебных заведений периодически подвергаются критике со стороны экспертного сообщества [25–27].

Целью формирования глобальных рейтингов университетов является помощь потребителям образовательных услуг в выборе лучших университетов мира. Цель мониторинга, проводимого Минобрнауки РФ, – оценка эффективности деятельности российских вузов.

Российские вузы в 2016 г. обозначили свое присутствие в трех анализируемых рейтингах (ARWU, THE, QS). Характеристика, рассматриваемых международных рейтингов в 2016 г. выглядит следующим образом:

– The Academic Ranking of World Universities (ARWU):

- размерность рейтинга – 500 вузов, в том числе 100 индивидуальных мест;

- количество российских вузов в рейтинге – 3 (Московский государственный университет, Санкт-Петербургский государственный университет, Новосибирский государственный университет);

- количество российских вузов, имеющих индивидуальный рейтинг, – 1 (МГУ).

- Times Higher Education World University Rankings (THE):

- размерность рейтинга – 801+ (978) вузов, в том числе 200 индивидуальных мест;

- количество российских вузов в рейтинге – 24;

- количество российских вузов, имеющих индивидуальный рейтинг, – 1 (МГУ).

- World University rankings of Quacquarelli Symonds (QS):

- размерность рейтинга – 701 + (916) вузов, в том числе 400 индивидуальных мест;

- количество российских вузов в рейтинге – 22;

- количество российских вузов, имеющих индивидуальный рейтинг, – 8.

Стоит отметить, что, во-первых рейтинги периодически увеличивают свою размерность, а во-вторых, увеличивается количество российских вузов, включенных в списки данных рейтингов, причем это не всегда взаимосвязанные процессы.

Так для того чтобы университет стал участником в рейтинге University Ranking of Quacquarelli Symonds, необходимо подать заявку в компанию, после чего нужно разместить профиль своего университета на ее сайте. Для получения положительного заключения на поданную заявку, целевые показатели университетов должны быть не ниже показателей вузов, которые уже являются участниками рейтинга.

Консалтинговое агентство Quacquarelli Symonds составляет 10 профильных рейтингов по системе высшего образования, в которые могут быть включены высшие учебные заведения:

- рейтинг лучших университетов: Word university rankings; World university ranking by subject; World university ranging – Top 50 Under 50; Graduate employability rankings; Best student cities;

- рейтинг лучших университетов стран с развивающейся экономикой: рейтинг вузов арабских стран; стран Азии; БРИКС; Латинской Америки; развивающихся стран Европы и Центральной Азии.

Для вузов России наиболее привлекательными являются рейтинги

лучших университетов мира и рейтинг университетов стран с развивающейся экономикой (The QS University Rankings: BRICS). В табл. 4.2 представлены сводные показатели по указанным рейтингам.

Таблица 4.2

**Сводные показатели системы рейтингов – The QS University Rankings**

QS World University Rankings	QS University Rankings: BRICS	The QS Graduate Employability Rankings
Academic Reputation 40 %	Academic Reputation 30 %	Employer Reputation 30 %
Faculty Student Ratio 20 %	Faculty Student Ratio 20 %	Partnerships with Employers 25 %
Citations per Faculty 20 %	Citations per Paper 5 %	Alumni Outcomes 20 %
Employer Reputation 10 %	Employer Reputation 20 %	Employers' Presence on Campus 15 %
Proportion of International Students 5 %	Proportion of International Students 2,5 %	Graduate Employment Rate 10 %
Proportion of International Faculty 5 %	Proportion of International Faculty 2,5 %	
-	Proportion of Staff with PhD 10 %	
-	Papers per Faculty 10 %	

В профильном рейтинге QS World University Rankings наибольшее значение придается индикатору «Академическая репутация» (40 %), статистической базой по данному индикатору служат опросы академического сообщества; «Цитирование» (20 %), данные собираются с наукометрической базы SCOPUS; «Отношение количества студентов к научно-преподавательскому составу вуза» (20 %), статистические данные предоставляются непосредственно самими вузами.

В профильном рейтинге QS University Rankings по странам БРИКС веса между показателями распределились немного иным образом. Наи-

большее значение, как и предыдущем рейтинге, придается академической репутации, однако вес показателя в общей системе оценке немного снижен с 40 до 30 %, с неизменным весом остается индикатор отношения количества студентов к научно-преподавательскому составу вуза (20 %). Изменения по распределению весового коэффициента были отнесены к индикатору цитирования статей, вес был снижен с 20 до 5 %; увеличена значимость индикатора «Репутация работодателя» (с 10 до 20 %). В методику по данному профильному рейтингу введены два индикатора – «Доля сотрудников с ученой степенью» (10 %); «Количество статей на вуз» (10 %).

Статистической базой для составления рейтингов служат результаты опросов академического сообщества, работодателей, собственные данные вузов, данные наукометрической базы SCOPUS (табл. 4.3).

Совокупный весовой коэффициент индикаторов, которые оцениваются посредством опросов, равен 50 %.

Совокупный весовой коэффициент индикаторов, которые оцениваются с помощью наукометрической базы данных SCOPUS, составляет 15–20 %.

Таблица 4.3

**База данных для составления – The QS University Rankings**

<b>№ п/п</b>	<b>База данных</b>	<b>Индикаторы</b>
1	Опросы академического сообщества	• Academic Reputation 40 %/30
2	Статистические данные наукометрической базы SCOPUS	• Citations per Faculty 20 %/5 • Papers per Faculty from Scopus 0/10 %
3	Опросы работодателей	• Employer Reputation 10 %/20
4	Статистические показатели университетов	• Proportion of International Students 5 %/2,5 • Proportion of International Faculty 5 %/2,5 • Faculty Student Ratio 20 % • Proportion of Staff with PhD 0/10 %

Совокупный весовой коэффициент индикаторов, которые оцениваются посредством внутренних показателей (статистики) оцениваемых вузов, составляет 30–35 %. Анализируя индикаторы системы международного рейтинга, стоит отметить, что, повышая качество научных исследований,



вузы могут улучшить свои позиции в рейтинге.

Во-первых, потому что наибольший весовой коэффициент (40 % в системе The QS World University Rankings / 30 % по странам БРИКС, далее 40/30) в системе оцениваемых индикаторов отведен академической репутации, статистической базой для анализа служат опросы академического сообщества, данный индикатор можно интерпретировать как узнаваемость или бренд вуза.

Во-вторых, в методике оценивается цитируемость научных работ (весовой коэффициент 20/5), как правило, наиболее цитируемые работы являются наиболее значимые. В отличие от предыдущего индикатора, этот непосредственно связан с уровнем научной среды в вузе. В методике рейтинга вузов по странам БРИКС дополнительно к уровню цитирований статей введен показатель количество статей на вуз (весовой коэффициент 10 %). Таким образом, весовой коэффициент публикационной активности равен 20 % The QS World University Rankings и 15 % в рейтинге по странам БРИКС.

Другой индикатор, которому придан существенный весовой коэффициент, – это отношение количества студентов к количеству научно-преподавательскому составу (вес в системе ранжирования – 20 %). Данный показатель косвенно отражает качество преподавания, если на одного преподавателя большая нагрузка, снижается качество индивидуальной работы со студентами и уровень его научной деятельности.

Еще одним значимым показателем в системе ранжирования вузов являются оценки работодателей о степени подготовки специалистов к рынку труда. Данному индикатору присвоен вес в системе ранжирования – 10 %.

Последние два показателя – количество иностранных студентов и интернализация университета – в некоторой степени зависит напрямую от предыдущих показателей, ведь если вуз имеет приличную академическую репутацию, сильный научный и кадровый потенциал, вероятнее всего, образование в таком вузе достойным. Однако, с другой стороны, данный показатель может зависеть и от ценовой политики вуза, и от программ для иностранных студентов, которые могут быть более привлекательны, чем вузы, например, из топ-50 или топ-100.

В качестве заключения стоит отметить, что системе ранжирования в The QS World University Rankings наибольшее значение отводится **научной составляющей** (60 %: Academic Reputation 40 %; Citations per Faculty 20 %) и **уровню преподавания** (30 %: Faculty Student Ratio 20 %; Employer

Reputation 10 %).

В рейтинге по странам БРИКС наибольшее значение отводится *научной составляющей* (45 %: Academic Reputation 30 %; Papers per Faculty 10 %; Citations per Faculty 5 %) и *уровню преподавания* (50 %: Employer Reputation 20 %; Faculty Student Ratio 20 %; Proportion of Staff with PhD 10 %). В качестве примечания отметим, что доля научно-преподавательского состава с ученой степенью может быть отнесена как к научной составляющей, так и к качеству преподавания.

University Ranking of Times Higher Education ориентирован на университеты, которые занимаются активно научной деятельностью, и для того чтобы стать участником рейтинга THE, университеты должны иметь не менее 150 статей в год (1 000 публикаций за период с 2011 до 2015 г.), кроме того, университеты могут быть исключены из рейтинга, если более 80 % их деятельности сосредоточено только в одной из восьми оцениваемых областей (Arts & humanities; Business & Economics; Clinical, pre-clinical & health; Computer Science; Engineering & technology; Life sciences; Physical sciences; Social sciences).

Рейтинг THE в отличие от QS составляет меньшее количество профильных рейтингов (6 профильных рейтингов против 10, составляемых QS):

- лучшие университеты мира: THE World University Rankings; World Reputation Rankings; 150 Under 50 Rankings;

- лучшие университеты мира стран с развивающейся экономикой: BRICS & Emerging Economies; Latin America Rankings; Asia University Rankings.

Среди профильных рейтингов для российских вузов более привлекательными могут быть рейтинги лучших университетов мира и рейтинг университетов стран с развивающейся экономикой (BRICS & Emerging Economies).

Методика THE проводить рейтинговую оценку по пяти сферам (преподавание, наука, цитирование, интернализация вуза, доход). В табл. 4.4 представлены сводные показатели по профильным рейтингам, разработанными THE.

Рейтинг THE имеет большее количество индикаторов для оценивания вузов. В профильном рейтинге THE World University Rankings наибольшее значение придается научной составляющей – 60 % (исследование – 30 %; цитирование научных статей – 30 %) и преподавательской состав-

ляющей – 30 %.

Таблица 4.4

**Сводные показатели системы рейтингов – The Times Higher  
Education University Rankings**

<b>THE World University Rankings</b>	<b>BRICS &amp; Emerging Economies</b>
– Teaching (the learning environment) 30 %: • Reputation survey: 15 % • Staff-to-student ratio: 4,5 % • Doctorate-to-bachelor's ratio: 2,25 % • Doctorates awarded to academic staff ratio: 6 % • Institutional income: 2,25 %	
– Research (volume, income and reputation) 30 %: • Reputation survey: 18 % • Research income: 6 % • Research productivity: 6 %	
– Citations (research influence): 30 %	– Citations (research influence): 20 %
– International outlook: 7,5 % • International-to-domestic-student ratio: 2,5 % • International-to-domestic-staff ratio: 2,5 % • International collaboration: 2,5 %	– International outlook: 10 % • International-to-domestic-student ratio: 3,33 % • International-to-domestic-staff ratio: 3,33 % • International collaboration: 3,34 %
– Industry income (knowledge transfer): 2,5 %	– Industry income (knowledge transfer): 10 %

В профильном рейтинге THE University Rankings по странам БРИКС веса между показателями распределились немного иным образом. Наибольшее значение придается научной составляющей – 50 % (исследование – 30 %; цитирование научных статей – 20 %) и преподавательской составляющей – 30 %, увеличено значение индикатора доходности вузов с 2,5 до 10 %.

Статистической базой для составления рейтингов служат результаты опросов академического сообщества, собственные данные вузов, данные наукометрической базы SCOPUS (табл. 4.5).

Совокупный весовой коэффициент индикаторов, которые рассчитываются посредством опросов, равен 33 %.

Таблица 4.5

**База данных для составления The Times Higher Education University Rankings**

<b>№ п/п</b>	<b>База данных</b>	<b>Индикаторы</b>
1	Опросы академического сообщества	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reputation survey (Teaching)</li> <li>• Reputation survey (Research)</li> </ul>
2	Статистические показатели университетов	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Staff-to-student ratio</li> <li>• Doctorate-to-bachelor's ratio</li> <li>• Doctorates awarded to academic staff ratio</li> <li>• Research income</li> <li>• International-to-domestic-student ratio</li> <li>• International-to-domestic-staff ratio</li> <li>• International collaboration</li> <li>• Institutional income</li> <li>• Industry income (knowledge transfer)</li> </ul>
3	Данные наукометрической базы SCOPUS	Citations (research influence) Research productivity

Совокупный весовой коэффициент индикаторов, которые рассчитываются с помощью наукометрической базы данных SCOPUS, составляет 26–36 %.

Совокупный весовой коэффициент индикаторов, которые рассчитываются посредством внутренних показателей (статистики) оцениваемых вузов, составляет 31–41 %. Сравнивая методики рейтингования вузов по системе Quacquarelli Symonds и Times Higher Education, стоит отметить, что они включают различные показатели в модули. Times Higher Education включило большее количество для составления рейтинга (табл. 4.6).

В двух анализируемых рейтингах наибольшее значение отводится научной (60 %) и образовательной (30) составляющим.

Консалтинговое агентство Quacquarelli Symonds оценивает научную составляющую вузов по меньшему количеству индикаторов:

- 1) опросы академического сообщества, 30 %;
- 2) цитирование научных статей в наукометрической базе SCOPUS, 30 %.

В то время как Times Higher Education в своей методике с целью оценки научной составляющей использует четыре индикатора:

- 1) опросы академического сообщества, 18 %;
- 2) цитирование научных статей в наукометрической базе SCOPUS, 30 %;
- 3) продуктивность научных исследований (отношение количества статей в наукометрической базе SCOPUS к количеству научных сотрудников вуза), 6 %;
- 4) доход от научных исследований, 6 %.

Таблица 4.6

**Сравнение индикаторов и весовых коэффициентов World University Rankings of Quacquarelli Symonds и Times Higher Education**

Quacquarelli Symonds	Times Higher Education
<i>Research (research influence), весовой коэффициент</i>	
60 %	60 %
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Academic Reputation: 30 %</li> <li>• Citations per Faculty: 30 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reputation: 18 %</li> <li>• Citations: 30 %</li> <li>• Research income: 6 %</li> <li>• Research productivity: 6 %</li> </ul>
<i>Teaching, весовой коэффициент</i>	
30 %	30 %
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Faculty Student Ratio: 20 %</li> <li>• Employer Reputation: 10 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Staff-to-student ratio: 4,5 %</li> <li>• Reputation: 15 %</li> <li>• Doctorate-to-bachelor's ratio: 2,25 %</li> <li>• Doctorates awarded to academic staff ratio: 6%</li> <li>• Institutional income: 2,25 %</li> </ul>
<i>International outlook, весовой коэффициент</i>	
10 %	7,5 %
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proportion of International Students: 5 %</li> <li>• Proportion of International Faculty: 5 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• International-to-domestic-student ratio: 2,5 %</li> <li>• International-to-domestic-staff ratio: 2,5 %</li> <li>• International collaboration: 2,5 %</li> </ul>
<i>Industry income, весовой коэффициент</i>	
0 %	2,5 %
Не оценивается	Industry income (knowledge transfer): 2,5 %

Основное отличие между индикаторами, которые позволяют проранжировать вузы по научной составляющей QS THE, заключается в том, что QS большое значение придает опросам академического сообщества (30 %), THE – 18 %. Также научная деятельность оценивается посредством цитирования и количества научных статей, размещенных в наукометрической базе SCOPUS: весовой коэффициент в методике QS – 30 %, в методике THE – 36 % (30 + 6 %). Кроме того, THE вводит такой показатель как доходность вуза от научной составляющей (6 %).

Что касается образовательной составляющей, то методика QS более проста и оценивает по двум индикаторам:

- 1) отношение количество профессорско-преподавательского состава к количеству студентов, весовой коэффициент в методике – 20 %;
- 2) опросы работодателей, весовой коэффициент в методике – 10 %.

Методика THE конкретизирует показатель отношение количество профессорско-преподавательского состава к количеству студентов и вводит стоимостной показатель:

- 1) отношение количество профессорско-преподавательского состава к количеству студентов, весовой коэффициент в методике – 4,5 %;
- 2) опросы академического сообщества, весовой коэффициент в методике – 15 %;
- 3) отношение магистрантов к бакалавриатам, весовой коэффициент – 2,25 %;
- 4) отношение количества защищенных докторов к общему количеству академических работников, весовой коэффициент – 6 %;
- 5) отношение дохода вуза к количеству академических работников, весовой коэффициент – 2,25 %.

В отличие от QS, которые образовательную составляющую оценивают посредством опросов работодателей, THE – с помощью опросов академического сообщества. Кроме того, THE вводит стоимостной показатель: отношение дохода вуза к количеству академических работников.

В табл. 4.7 представлено сравнение весовых коэффициентов по базам данных University Rankings of Quacquarelli Symonds и Times Higher Education.

Таблица 4.7

**Сравнение весовых коэффициентов по базам данных University  
Rankings of Quacquarelli Symonds и Times Higher Education**

Совокупный весовой коэффициент индикаторов, которые оцениваются	<i>Quacquarelli Symonds</i>	<i>Times Higher Education</i>
1) посредством опросов	50 %	33 %
2) с помощью наукометрической базы данных SCOPUS	15–20 %	26–36 %
3) посредством внутренних показателей (статистики) оцениваемых вузов	30–35 %	31–41 %

– QS в своих рейтингах придает существенное значение мнению академического сообщества и работодателей. Весовой коэффициент индикаторов, которые рассчитываются на основе опросов, равен 50 %.

– QS в отличие от THE проводит опросы среди работодателей.

– Для оценки публикационной активности, QS и THE используют данные наукометрической базы данных SCOPUS.

– THE в отличие от QS имеет более расширенный список индикаторов для ранжирования вузов.

– Наиболее значимым отличием среди индикаторов между QS и THE является то, что THE использует финансовые показатели деятельности вузов (Research income; Research productivity; Institutional income; Industry income).

Более строгий отбор университетов из трех мировых рейтингов присущ рейтингу Academic Ranking of World Universities ARWU (Шанхайский рейтинг). Его расчет происходит без непосредственного обращения в университеты. Всю информацию о вузах организаторы рейтинга берут из общедоступных web-источников. Сведения собираются только по тем вузам, которые отвечают следующим требованиям: наличие Нобелевских лауреатов и медалистов Филдса (Филдсовская премия) среди сотрудников и выпускников вуза, высокоцитируемых ученых либо ученых, публикующих статьи в научных журналах «Nature» and «Science» в 21 предметной области. Кроме того, в данный рейтинг могут быть включены университеты с существенным количеством статей индексируемых в Science Citation Index-Expanded (SCIE) and Social Science Citation Index (SSCI). В общем, более чем 1 200 университетов попали в рейтинги, 500 из них опубликованы в рейтинге на сайте <http://www.shanghairanking.com>.

Основное отличие рейтинга ARWU от QS и THE заключается в том, что в нем оценивается только научная составляющая, не оценивается образовательная составляющая. Хотя, конечно, в Шанхайском рейтинге заявлено, что они оценивают качество образовательной составляющей, наличием среди сотрудников и выпускников вуза Нобелевских лауреатов и медалистов Филдса. Конечно, данный вопрос немного спорный, и если таким образом оценивать качество преподавательской деятельности, то можно говорить о том, что данный рейтинг использует достаточно жесткие критерии для оценки.

Статистической базой для составления рейтинга ARWU служат данные web-источников, для сбора статистических данных опросы не проводятся, данные по публикационной активности собираются с наукометрической базы данных Web of Science (Thomson Reuters).

Методика Academic Ranking of World Universities оценивает следующие составляющие:

1) *результативность профессорско-преподавательского состава (Quality of faculty)*, *весовой коэффициент 40 %*:

– *сотрудники института, выигравшие Нобелевскую премию или получившие медаль Филдса (20 %)*. Общее число сотрудников института, кто выиграл Нобелевскую премию по физике, химии, медицине, экономике и получил медаль Филдса в области математике. Ученый учитывается в рейтинге за университетом, если он в период награждения работал в этом университете. Кроме того, данный показатель учитывается с разным весом: 2011 г. – 100 %, 2001–2010 гг. – 90 %, 1991–2000 гг. – 80 %, 1981–1990 гг. – 70 % и т. д., конечная точка 1921–1930 гг. – 10 %;

– *высокоцитируемые исследователи в 21 предметной области (20 %)* выбираются по данным Thomson Reuters;

2) *результаты исследований (Research output)*, *(40 %)*:

– *статьи, опубликованные в журналах Nature and Science, (20 %)*;

– *статьи индексируемые in Science Citation Index-expanded and Social Science Citation Index (20 %)*;

3) *качество преподавания (Quality of education)*, *(10 %)*:

– *выпускники института, выигравшие Нобелевскую премию и/или получившие медаль Филдса (10 %)*;

4) *производительность (результативность) на одного сотрудника вуза (10 %)*. Средневзвешенный показатель пяти индикаторов методики рассчитывается как средневзвешенное пяти показателей, или если вуз



предоставляет данные по количеству сотрудников, то как средневзвешенное от отношения каждого из пяти показателей пересчитанные на количество сотрудников.

В качестве заключения по Шанхайскому рейтингу, или рейтингу ARWU, можно отметить, что в рейтинге учитывается научная составляющая вуза, причем самая сильная его сторона (нобелевские, филдсовские лауреаты, публикации в журналах Nature and Science и др.), данные показатели способны достигнуть только те вузы, в которых научные исследования находятся на высоком конкурентном уровне и имеют международное признание.

Далее проанализирована отдача финансовых вложений вузов на продвижение на один пункт в каждом из трех рассматриваемых международных рейтингов (табл. 4.8). Расчет производился путем деления суммы финансирования вуза на место в рейтинге, то есть на то количество пунктов, на которое поднялся университет с нижней позиции, иными словами можно сказать, что таким образом рассчитывается стоимость занимаемой позиции в рейтинге (формула 1):

Таблица 4.8

**Характеристика международных рейтингов World university ranking, 2016 г.**

<b>Характеристика</b>	<b>ARWU</b>	<b>THE WUR</b>	<b>QS WUR</b>
Размерность рейтинга, том числе индивидуальных мест	500 вузов	801 + (978) вузов	701 + (916) вузов
	100	200	400
Количество российских вузов в рейтинге	3 (МГУ, СПбГУ, НГУ)	24	22
Количество российских вузов, имеющих индивидуальный рейтинг	1 (МГУ)	1 (МГУ)	8

$$C_i^t = \frac{Inc_i^t}{400 - R_i^t}, \quad (4.1)$$

где  $C_i^t$  – отдача вложений  $i$ -го вуза в момент времени  $t$  на один пункт в рейтинге, тыс. руб./ед.;

$Inc_i^t$  – доход  $i$ -го вуза в момент времени  $t$ , млн руб., в сопоставимых ценах к 2014 г.;

400 – нижняя позиция рейтинга, с которой сравниваются остальные вузы;

$R_i^t$  – позиция  $i$ -го вуза (из рейтинга топ-400) в момент времени  $t$ , единица;

$t$  – временной промежуток, за который проводится анализ и сравнение данных, год.

Например, если МГУ занимает в рейтинге ARWU (топ-400) 80-е место, то рассчитывается соотношение суммы финансирования вуза к разнице самой низшей позиции (400) и занимаемого места в рейтинге (80).

В табл. 4.9 и на рис. 4.4 представлены данные Московского государственного университета (МГУ).

Таблица 4.9

**Отдача вложений финансирование МГУ на один пункт в рейтинге  
(данные представлены в сопоставимых ценах 2014 г.)**

Наименование рейтинга	2012 г.		2013 г.		2014 г.		2015 г.	
	Стоимость 1 пункта в рейтинге, млн руб.	Место в рейтинге	Стоимость 1 пункта в рейтинге, млн руб.	Место в рейтинге	Стоимость 1 пункта в рейтинге, млн руб.	Место в рейтинге	Стоимость 1 пункта в рейтинге, млн руб.	Место в рейтинге
ARWU (Топ 400)	74,7	80	65,7	79	71	84	64	86
THE (Топ 400)	218,1	291	112,5	213	134	233	84	161
QS (Топ 400)	84,2	116	75,7	120	78	114	69	108

*Примечание:* здесь и далее данные о финансировании российских вузов собирались с сайта [bus.gov.ru](http://bus.gov.ru).

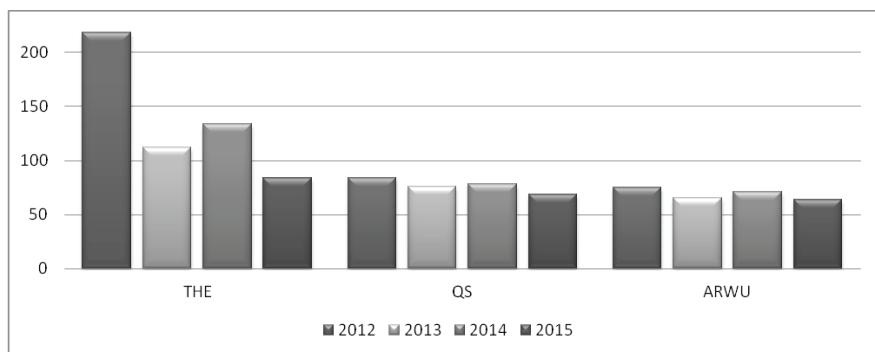


Рис. 4.4. Отдача вложений финансирования МГУ на один пункт в рейтинге (топ-400) (данные представлены в сопоставимых ценах 2014 г.), млн руб.

Стоит отметить, что присвоение рейтинга в рейтинговых системах имеет различную стоимостную оценку. Так, например, наиболее высокая отдача вложение финансирования на один пункт в рейтинге QS и ARWU, наиболее низкая – в рейтинге The Times Higher Education World University Rankings. При этом присвоение места в рейтинге впервые имеет более низкую отдачу, чем последующее поддержание и улучшение своих позиций в рейтинге.

Анализ данных по МГУ показывает, что вуз имеет примерно одинаковую стоимостную оценку одного балла в каждом из анализируемых рейтингов. Полученные значения, гипотетически можно объяснить тем, что МГУ имеет устоявшиеся позиции в международных рейтингах, и сам вуз соответствует тем требованиям, которые необходимы для присвоения ему международного рейтинга. Обратная картина складывается по СПбГУ, НГУ, МГТУ, МГИМО (табл. 4.10, рис. 4.5).

Анализ стоимости вложения финансирования по российским вузам, входящих в QS World University Ranking, показал, что анализируемые цифры имеют различное значение. Наиболее стабильные значения показателей наблюдаются для Новосибирского государственного университета. Для Московского государственного университета имени Н. Э. Баумана характерна положительная динамика, с повышением места в рейтинге наблюдается увеличение отдачи вложений финансирования. Противоположная от МГТУ им. Н. Э. Баумана картина наблюдается в Московском государственном институте международных отношений (МГИМО), данный университет снизил свои позиции в QS World University Ranking, при этом общее финансирование для вуза не снизилось (в сопоставимых ценах 2012 г.).

Авторами было проанализировано 11 российских университетов (в главе представлен анализ только по тем вузам, которые занимают позиции в рейтинге выше 400 строки, то есть имеют индивидуальные позиции в рейтинге). Средний показатель отдачи финансовых ресурсов соразмерно занимаемой позиции в международном рейтинге Топ-800 по версии QS для российских вузов составляет 374 млн руб. на один пункт в рейтинге, при этом наименьшую эффективность использования финансовых ресурсов соразмерно занимаемой позиции в рейтинге показывает Дальневосточный федеральный университет – 1 726 млн руб. на один пункт в рейтинге, наилучшую эффективность – СПбГУ (43 млн руб.), МГУ (78 млн руб.), Новосибирский государственный университет (101 млн руб.), Томский государственный университет (165 млн руб.).

Что касается отдачи вложений финансирования зарубежных вузов на один пункт в рейтинге, то стоит отметить, что данный показатель ниже, чем в российских вузах, то есть для того чтобы подняться на 1 пункт в международных рейтингах, зарубежным университетам требуются большие финансовые ресурсы.

Таблица 4.10

**Отдача вложений финансирования вузов на один пункт в топ-400 QS World University Ranking (данные представлены в сопоставимых ценах 2014 г.)**

Название вуза	2012 г.		2013 г.		2014 г.		2015 г.	
	Стоимость 1 пункта в рейтинге, млн руб.	Место в рейтинге	Стоимость 1 пункта в рейтинге, млн руб.	Место в рейтинге	Стоимость 1 пункта в рейтинге, млн руб.	Место в рейтинге	Стоимость 1 пункта в рейтинге, млн руб.	Место в рейтинге
Московский государственный университет	84	116	76	120	78	114	69	108
Санкт-Петербургский государственный университет	75	253	75	240	42	223	75	256
Новосибирский государственный университет	97	371	101	352	67	328	46	317
МГТУ им. Н. Э. Баумана	262	352	209	334	145	322	162	338
МГИМО	85	367	207	386	2848	399	1050	397

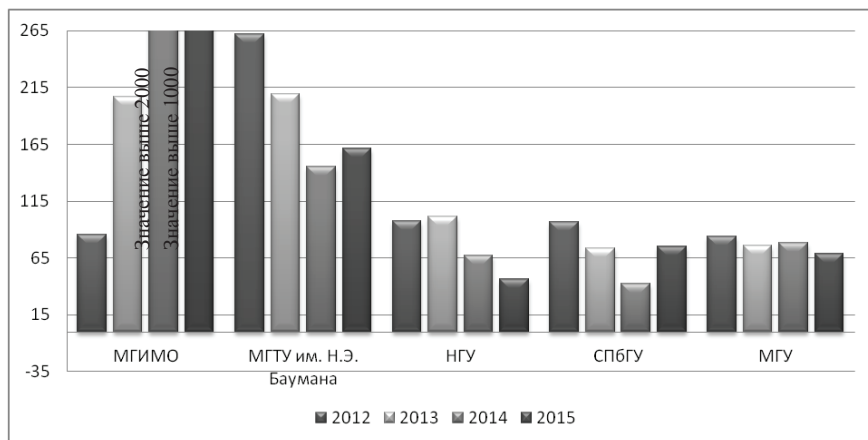


Рис. 4.5. Отдача вложений финансирования вузов на 1 пункт в рейтинге QS ТОП-400 (данные представлены в сопоставимых ценах 2014 г.), млн руб.

В табл. 4.11 представлены данные отдачи финансирования зарубежных вузов и их место в рейтингах. Гарвардский университет, занимающий лидирующие позиции в международных рейтингах, имеет одну из самых высоких стоимостей баллов в рейтинге – 4,4 млрд руб., занимает 1-е место в рейтинге ARWU, 2-е – THE, 4-е – QS. Наиболее высокую эффективность можно отметить в Массачусетском технологическом университете (1,5 млрд руб.), занимает 3-е место в рейтинге ARWU, 5-е – THE, 1 – QS, Колумбийском университете (0,96 млрд руб.), 8-е место в рейтинге ARWU, 13-е – THE, 14 – QS, Пенсильванском университете (1,2 млрд руб.), занимает 16-е место в рейтинге ARWU и THE, 12-е – в рейтинге QS.

Отметим, что представленные зарубежные университеты в табл. 4.11 имеют примерно равную стоимость одного балла в рейтингах и занимаемые позиции одного университета в рейтингах ARWU, QS, THE разнятся в меньшей степени, что нельзя сказать о российских университетах, у которых стоимость 1-го балла в представленных рейтингах существенно отличаются друг от друга, занимаемые позиции одного университета также различны от рейтинга к рейтингу.

Таблица 4.11

**Отдача вложений финансовых ресурсов в зарубежные вузы  
на 1 пункт в рейтинге в 2014 г.**

Название университетов	Место в рейтинге в 2014 г.			Эффективность отдачи финансовых вложений на 1 пункт в рейтинге топ-400, млн руб.		
	QS	THE	ARWU	QS	THE	ARWU
Гарвардский университет	4	2	1	4 444	4 421	4 410
Стэндфордский университет	7	4	2	3 089	3 066	3 050
Йельский университет	10	11	11	2 502	2 509	2 509
Принстонский университет	9	6	6	2 093	2 077	2 077
Массачусетский технологический университет	1	5	3	1 464	1 478	1 471
Пенсильванский университет	13	16	16	1 181	1 191	1 191
Университет Дьюка	25	17	31	1 168	1 144	1 187
Колумбийский университет	14	13	8	985	983	970
Нортдамский университет	237	90	278	2 239	1 177	2 992

*Примечание:* Финансирование по вузам предоставлено рейтинговым агентством Moody's Investors Service. Курс доллара – среднее за 2014 г.

Наиболее низкую эффективность отдачи вложений финансирования на 1 пункт в международных рейтингах имеют те российские вузы, которые занимают низшие позиции. Противоположная ситуация складывается с зарубежными вузами. Среди вузов нет явной зависимости эффективности использования финансовых ресурсов соразмерно занимаемой позиции. Так, например, Гарвардский университет занимает 1-е место в рейтинге ARWU, 2-е – THE, 4-е – QS, при этом стоимость 1 пункта в рейтинге 4,4 млрд. руб. Массачусетский технологический университет занимает 3-е место в рейтинге ARWU, 5-е – THE, 1-е – QS, стоимость 1 пункта – 1,5 млрд руб. Такие же значения эффективности отдачи финансовых ре-

сурсов на один пункт в международном рейтинге можно наблюдать и у вузов, которые занимают более низкие позиции (Нортдамский университет – в среднем 2 млрд руб., 279-е место в рейтинге ARWU, 90-е – THE, 237-е – QS; Университет Дьюка – 1,1 млрд руб., ARWU – 31-е, THE – 17-е, QS – 25-е).

На основе анализа данных можно предположить, что зарубежные вузы имеют более постоянное значение отдачи финансовых ресурсов соразмерно занимаемой позиции в рейтинге, при этом нет зависимости между занимаемой позицией и суммой доходов университетов. Такое соотношение финансирования и занимаемой позицией в рейтинге может свидетельствовать об особенностях доходов каждого университета (соотношение государственных и коммерческих доходов) при одинаково высоких показателях, оцениваемые рейтинговыми агентствами.

Что касается российских вузов, то постоянное значение эффективности отдачи имеет только Московский государственный университет, для остальных российских вузов, которые присутствуют в World University Rankings, данный показатель неустойчив. Такое положение может объяснять тем, что российские вузы только начинают обозначать свое присутствие в международных рейтингах и ориентироваться на международные показатели, которые оцениваются рейтинговыми агентствами.

При этом стоит отметить, что показатель соотношения финансирования вузов и занимаемой позицией в международных рейтингах в российских вузах меньше как минимум в девять раз.

Проведенный анализ индикаторов, по которым рассчитываются рейтинги вузов, и анализ эффективности вузов на один пункт в международных рейтингах позволили сформулировать следующую гипотезу.

*Достижение вузами целевых показателей рейтинга изменяет их структуру: повышается результативность научно-инновационной деятельности вуза, увеличивается объем доходов от данного вида деятельности.*

Условно данную гипотезу можно представить в виде схемы: вуз – наука – рейтинг.

Стоит отметить, что повышение позиций в международных рейтингах оказывают на вузы прямое и косвенное влияние.

В качестве прямого влияния рейтингов на деятельность вузов можно обозначить, что с повышением места вуза в рейтинге, он становится более конкурентоспособным с позиции его выбора абитуриентами и их представителями.

Косвенное влияние является более многогранным для осмысления, суть которого заключается в том, что при достижении целевых количе-

ственно-условных показателей рейтинга повышаются показатели научно-инновационной деятельности вузов, так как для расчета рейтинга доля индикаторов, которые оцениваются научную деятельность, составляет более 50 %:

- для рейтинга QS – этот показатель составляет 60 % (Academic Reputation: 30 %; Citations per Faculty: 30 %),

- для рейтинга THE – 70 % (Reputation: 18%; Citations: 30 %; Research income: 6 %; Research productivity: 6 %; International collaboration: 2,5 %; Doctorate-to-bachelor's ratio: 2,25 %; Doctorates awarded to academic staff ratio: 6 %),

- для рейтинга ARWU – 100 %.

Здесь важно объяснить, как научные исследования изменяют структуру финансирования вузов только в случае проведения качественных, конкурентоспособных исследований вузами.

В этой связи возникает необходимость отметить, что влияние целевых показателей дорожных карт (объем финансирования; количество документов в базах SCOPUS/WOS, доля статей в международном соавторстве (Scopus); H-индекс или индекс Хирша (Scopus) и др.) на позиции в международных рейтингах является дискуссионным. Значение самих показателей, конечно, являются составными методики рейтингования вузов, но показатели – это не самоцель деятельности, а изменить значение данных показателей возможно посредством повышения конкурентоспособности исследований.

Одной из обоснованных точек зрения по данному поводу является позиция О. Москалёвой, которая провела анализ зависимости публикационных показателей и занимаемой позицией университетов и представила подробный отчет о количественных и качественных характеристиках публикационной активности сотрудников вузов [28]. О. Москалёва приходит к выводу о том, что увеличение количества журналов в Web of Science или Scopus не обязательно приведет к улучшению позиции в рейтингах. В качестве рекомендаций О. Москалёва отмечает, что надо менять стратегию публикационной активности: во-первых, изменять политику российских журналов, входящих в Web of Science или Scopus, для повышения их уровня – более медленный, но более продолжительный эффект; во-вторых, публиковаться в более рейтинговых журналах – более быстрый вариант.

С. Донецкая приходит к подобному выводу, что и О. Москалёва, говоря о повышении публикационной активности и уровня цитируемости



на одну статью, она предлагает публиковать много научных работ в журналах со средним и высоким импакт-фактором, при этом отмечает, что основная проблема российских вузов кроется в низком уровне публикационной активности преподавателей и невысокой востребованности за рубежом их научных публикаций [29].

Выводы, к которым приходят эксперты, исследователи и авторы статей, весьма обоснованы, так как, чтобы повысить свои позиции в международных рейтингах, следует улучшать те показатели, чей вес в общем количестве превалирует. В глобальных мировых рейтингов (QS, THE, ARWU) больший вес присвоен таким показателям, как уровень цитируемости, академическая репутация, количество и обхват исследований. Все эти показатели тесно связаны с результатами научной деятельности, которые преимущественно выражаются в публикационной активности.

По нашему мнению, спорной является постановка проблемы рядом авторов (О. Москалёвой, С. Донецкой, П. Арефьева [30, с. 256] и другими), которые в публикациях делают акцент на повышение уровня публикационной активности и уровня цитируемости статей, но в меньшей степени рассматривают приоритет научных исследований. В тоже время уровень научных исследований определяет качество статей и, как следствие, включения их в высокорейтинговые журналы и повышения уровня цитируемости.

Чем более значимо исследование с позиции научного сообщества, тем оно более цитируемо и, как правило, опубликовано в высокорейтинговом журнале. Иными словами, первоочередной задачей российского научного сообщества должна лежать в области внедрения инновационных методов и разработок, а не в стремлении повысить публикационную активность и цитируемость статей.

В отличие от российских ученых, в чьих работах делается большой акцент на публикационную активность, зарубежные коллеги уделяют большее внимание индексам (индекс Хирша, импакт-фактор журнала). Так, М.-Н. Huang проводит исследования о влиянии h-index на результативность научных исследований и приходит к выводу о подтверждении данной взаимосвязи [31]. К подобным выводам приходит L. Bornmann и Н. D. Daniel, подтверждая гипотезу о влиянии h-index на успешность научных исследований [32]. Р. Weingart также смещает акцент в сторону необходимости индекса Хирша и значимости высокоцитируемых ученых [33]. Еще одним значимым наукометрическим показателем являет-

ся Journal Citation Report (JCR) ISI (ISI Impact Factor), а высокое количественное значение данного показателя индикатором качества публикаций в таком журнале [34].

Итак, взаимосвязь позиций в международных рейтинговых системах и структуры финансирования российских вузов имеет место для существования. Гипотетически с повышением позиций в рейтинге увеличиваются, во-первых, поступления от платных образовательных услуг (прямая цель рейтинга). При этом повышение позиций в рейтинге невозможно без повышения конкурентоспособности научных исследований, что, как следствие, приводит к привлечению дополнительного финансирования из государственных фондов (РНФ, РФФИ и другие источники) или из коммерческих структур, что является, во-вторых (косвенные последствия рейтинга).

В этой связи авторами представлена модель интегральной оценки отдачи от позиций российских вузов в международных рейтингах.

Базовая функция описания динамики выглядит следующим образом:

$$E(t_k) = \int_k^{k+1} \left( \frac{IS(t)}{I(t)} + \frac{S_{h>5}(t)}{S(t)} + \frac{P_{IF>3}(t)}{P(t)} \right) dt, \quad (4.2)$$

где  $E(t_k)$  – эффект отдачи от позиций  $i$ -го вуза в текущем отчетном периоде;

$IS(t_k)$  – (Income from science) – доход  $i$ -го вуза от научно-инновационной деятельности в текущем отчетном периоде, тыс. руб.;

$I(t_k)$  – (Income) доход  $i$ -го вуза в текущем отчетном периоде, тыс. руб.;

$S_{h>5}(t_k)$  – (staff with h-index>5) – количество авторов  $i$ -го вуза, имеющих  $h$ -index больше 5 в текущем отчетном периоде, по данным наукометрической базы данных SCOPUS/Web of science, человек;

$S(t_k)$  – (staff) – количество авторов  $i$ -го вуза, в текущем отчетном периоде, человек;

$P_{IF>3}(t_k)$  – (paper in journal with IF > 3) – количество статей  $i$ -го вуза, опубликованных в журналах, индексируемых в международных базах цитирования WoS/Scopus, с импакт-фактором больше 3, единица.

$P(t_k)$  – (paper) – количество статей  $i$ -го вуза, опубликованных в журнале индексируемых в международных базах цитирования WoS/Scopus, единица.

Однако формула (4.2) имеет некоторый отложенный эффект, так например, нужно учитывать, что самые свежие статьи неправильно оценивать по индексу цитирования. Обычно статья достигает максимума цитирования через 3–5 лет после своего опубликования. Если за временную лагу брать 10-летний период ( $k$  – базовый год), то достоверный результат для анализа можно считать 7-летний период ( $k + 3 \dots k + n$  – достоверная временная лага для анализа).

Проведенный анализ рейтинговых систем и оценки эффективности финансовых вложений на один пункт в международных рейтингах подвел авторов к постановке гипотезы о том, что *достижение вузами целевых показателей рейтинга изменяет их структуру: повышается результативность научно-инновационной деятельности вуза, увеличивается объем доходов от данного вида деятельности.*

Кроме того, полученные данные в результате проведенного исследования, позволяют сформировать некоторое обобщение работы.

Повышения позиций в международных рейтингах и укрепление достигнутых позиций возможно посредством развития конкурентоспособной вузовской науки, основные ориентиры должны быть не только количественные значения, но прежде всего качественные, которые могут быть оценены через индекс Хирша ученого, импакт-фактор журнала, в котором публикуются статьи сотрудников вуза.

Ориентация на наукометрические показатели продиктована существенной долей индикаторов науки в международных рейтингах, которая составляет от 60 до 100 %.

Кроме того, практическое применение при дальнейшем расширении могут иметь расчеты по стоимости одного пункта в международных рейтингах. Полученный результат может быть теоретической основой для ранжирования вузов и выделения им финансирования на конкурсной основе.

На протяжении последнего десятилетия университетское образование во всем мире претерпевает ряд системных трансформаций. Эти трансформационные процессы являются следствием усугубления ключевых проблем глобальной системы высшего образования: нарастания оторванности университетского образования от потребностей общества и экономических реалий; чрезмерной дороговизны получения высшего образования; консервативности методов организации образовательного процесса. Поэтому ощущение кризисности в развитии университетского образования во многом связано не только с ростом неопределенности внешней

среды, но и в первую очередь с несоответствием всей системы высшего образования актуальному социально-экономическому контексту.

В российской литературе акцент в изучении проблем функционирования университетов смещен в сторону различных экономических теорий (теории организации, теории государственных финансов, теории рынка). При этом зачастую игнорируются социальные аспекты деятельности вуза, закономерности его функционирования как социальной системы и общественного института. Между тем в проводимых в развитых странах исследованиях социальная роль университетов все чаще выводится на первый план, и в качестве дискуссионного ставится вопрос о сочетании различных миссий университета: преподавательской («первая роль» университетов), исследовательской («вторая роль») и социальной – взаимодействия с регионом («третья роль»).

Реализация «третьей роли» университетов посредством повышения их вклада в развитие местных сообществ, городов и территорий – одна из ключевых задач развития высшего образования, в глобальном контексте – функция социальной ответственности университетов.

Под социальной ответственностью высших учебных заведений российские исследователи преимущественно подразумевают деятельность университетов, связанную с содействием социально-экономическому развитию регионов, прежде всего через подготовку кадров и укрепление потенциала вузовской науки [35]. Иными словами, социальная ответственность университетов заключается в обеспечении региона квалифицированными специалистами.

Более широко социальная ответственность университетов трактуется исследователями, которые включают в него качество профессиональной подготовки выпускников, обеспечение количественной потребности национального рынка труда в профессиональных кадрах (иными словами, оптимизация структуры выпуска специалистов), повышение конкурентоспособности специалистов, обеспечение финансовой самостоятельности вузов [36]. Таким образом проводится аналогия между социальной ответственностью университетов и корпоративной ответственностью бизнес-сообщества. Аналогичной точки зрения придерживаются и участники проекта «Университет и сообщество», реализованного фондом «Новая Евразия» (реализация проекта проходила в три этапа общей продолжительностью с 2008–2013 гг., участниками проекта являлись 22 российских высших учебных заведения) [37].

В качестве наиболее широкого понимания социальной ответственности университетов можно привести пример формирования политики в области социальной ответственности в Уральском федеральном университете имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. Руководством университета была утверждена политика социальной ответственности, которая представляет собой совокупность добровольных обязательств университета, вырабатываемых с участием заинтересованных сторон, выполняемых в основном за счет собственных средств университета, по выполнению социальных программ и проектов, направленных на развитие университета, улучшение взаимодействия с обществом, бизнесом и властью, поддержку развития региона и страны. В свою очередь, под социальной ответственностью высшего учебного заведения подразумевается многогранное явление, рассматриваемое относительно нескольких субъектов:

- *сотрудников* (развитие социальных программ – «Здоровье», «Доступное жилье», «Наше будущее» и др.);
- *бизнес-сообщества* (обеспечение необходимыми высококвалифицированными кадрами – оптимизация структура выпуска специалистов, мониторинг качества подготовки выпускаемых специалистов и др.);
- *власти* (содействие региональному развитию, формирование социально активной молодежи и молодежной среды, снижение уровня правонарушений), то есть в данном определении социальная ответственность, по мнению авторов, представлена наиболее полным образом, охватывая внешнюю и внутреннюю среду университета.

По большому счету в России понимание «третьей роли» университетов находится в зачаточном состоянии, о чем свидетельствуют отсутствие единого подхода к определению социальной ответственности высших учебных заведений, зачастую отсутствие ее упоминания в нормативных документах и слабая реализация в деятельности университетов.

Иное отношение к социальной ответственности сформировалось и внедряется еще с начала двухтысячных годов в зарубежных университетах. Например, в Финляндии социальная миссия образовательных учреждений была закреплена на законодательном уровне в Акте об университете в 2004 г. В Швеции социальная ответственность университетов была закреплена в Акте об университетах еще в 1998 г. параллельно с принятием программы регионального развития [38].

В западной традиции социальная функция университетов, во-первых, выражается в закреплении за учебными заведениями статуса интеллекту-

ального и экономического двигателя развития крупного города или региона, во-вторых, университет должен коммерциализировать идеи, оставляя в приоритете развитие интеллектуальной среды. Приведенный концепт социальной функции университетов успешно реализуется в зарубежной практике. Таким образом, социальная ответственность университетов – это ответственность высших учебных заведений перед обществом в целом, и каждым его составляющим в отдельности.

Проецируя данное понятие в сферу высших учебных заведений можно отметить, что образовательные учреждения в некотором роде реализуют принцип социально ответственного института, который выражается в их деятельности. В широком смысле социальная ответственность образовательных учреждений реализуется посредством воспроизводства (увеличения) человеческого капитала, формирования рынка труда (оптимизация структуры выпуска, переоценка структуры выпускающих специальностей), в узком – это создание культуры и норм поведения внутри образовательного учреждения (корпоративная культура), рационализация структуры работников университетов и другое.

Если рассматривать функции реализации социальной ответственности вузов комплексно, то, по мнению авторов, они должны включать в себя следующие компоненты:

- экономическую ответственность (максимизация усилий, направленных на достижение экономического благополучия общества);
- ответственность в области рынка труда (создание новых рабочих мест, повышение уровня развития человеческого потенциала и т. д.);
- социокультурная ответственность (формирование интеллектуальных и личностных характеристик студентов в процессе обучения).

Первоочередным при анализе вопроса о выполнении социальной функции университетами является, по мнению авторов, анализ влияния функционирования высших учебных заведений на социально-экономическое развитие региона.

Обозначим составляющие деятельности вуза, которые оказывают влияние на социально-экономическое развитие региона:

- структура выпуска вуза оказывает влияние на уровень занятости региона, необходима оптимизация структуры выпуска, для того чтобы обеспечить занятость специалистов в соответствии с полученной специальностью;
- отчисляемые налоги вуза формируют доходную базу региона и муниципалитета, это связано со спецификой деятельности, так как высшее

образование – зарплатоемкий процесс. Большую часть отчисляемых налогов составляют региональные налоги, это налог на доходы физических лиц, земельный налог;

- занятость персонала вуза обеспечивает уровень занятости в регионе;
- доход вуза формирует валовой добавленный продукт, так как вузы являются составляющим такого вида экономической деятельности как образование.

В настоящее время существует проблема оценки участия университетов в социально-экономическом развитии регионов, в том числе и на законодательном уровне. Стоит отметить, что прежде чем социальная функция зарубежных учебных заведений была закреплена на законодательном уровне, был проведен многократный анализ роли вузов в региональном развитии. Наиболее показательным в этом плане является опыт стран ОЭСР, которые в рамках долгосрочного проекта «Обзор роли вузов в региональном развитии» в рамках Программы «Институциональное управление в высшем образовании» [39] (в кооперации со Всемирным банком) оценили роль вузов и региональном развитии [40]. Целью проекта была разработка рекомендаций для национальных и региональных органов управления образованием по формированию и реализации политических стратегий, направленных на увеличение вклада вузов в социальное, экономическое и культурное развитие регионов. Проект был реализован в три этапа:

I этап (2004–2007) – 14 регионов из 12 стран – членов ОЭСР (Австралия, Бразилия, Канада, Дания, Финляндия, Корея, Мексика, Нидерланды, Норвегия, Испания, Швеция, Англия).

II этап (2008–2010) – 14 стран-членов и стран – партнеров ОЭСР.

III этап (2011–2013) – Великобритания, ЮАР, Чили.

Анализу подвергались следующие направления: процессы взаимодействия вузов с регионами, модели и инструменты сотрудничества; ресурсы, необходимые для сотрудничества; вклад в региональное развитие; потенциал сотрудничества.

Проведение комплексного исследования роли университетов в развитии региона на происходило на основе:

- 1) Самообследования на основе опросника, содержащего набор рекомендуемых ОЭСР тем для раскрытия, с участием всех вузов региона/города, а также других заинтересованных сторон (местных органов власти, промышленных и бизнес-кругов и т. д.). Результатом являлся отчет о самообследовании.

2) Визита международной команды экспертов, результатом которого являлся экспертный отчет.

3) Диссеминации результатов исследования на международных конференциях, публикация международного сопоставительного обзора.

4) Описания социально-экономических показателей региона – участника проекта как составной части отчета о самообследовании, включая описание географической, демографической ситуации в регионе, экономической и социальной базы региона.

Исследования высших учебных заведений Великобритании, проведенные ассоциацией «Университеты Великобритании», показал, что отдача на каждый миллион фунтов стерлингов, вложенный Казначейством Великобритании в высшее образование, составляет 1,3 млн фунтов стерлингов в виде инвестиций в другие отрасли экономики Великобритании [41], экономический эффект в секторе высшего образования – весьма значимая величина, она составляет 59 млрд фунтов стерлингов в масштабе экономики страны в целом [42].

Методология исследования основана на экономической модели, использующей данные таблиц «затраты – выпуск» Национальной службы государственной статистики 2006 г., а также данные статистического ежегодника Великобритании «Синяя книга» (The Blue Book) 2008 г. Данные о финансах, персонале и студентах университетов получены в Статистическом агентстве системы высшего образования (Higher Education Statistics Agency, HESA). Другими источниками данных являются «Статистика путешествий» (Travel Trends) Национальной службы государственной статистики (Office of National Statistics, ONS) и «Исследование расходов студентов» (Student Expenditure Survey) (2009), опубликованное Департаментом инноваций, университетов и навыков Национальной службы государственной статистики, а также данные «Обследования рабочей силы» и «Ежегодного обследования предприятий», которые проводятся Национальной службой государственной статистики [43]. Методика включает в себя более 50 частных показателей, которые сгруппированы в 7 блоков [44]: показатели университета как хозяйствующего субъекта (оцениваются доходы и расходы по статьям); показатели университета как ресурса занятости, показатели вклада университета в повышение производительности труда (оценка по выпускникам вуза), показатели университета как фактора развития научно-образовательного и инновационного потенциала, показатели эффективности научных исследований (за пять



лет) (оценка проводится по количественным показателям деятельности: статьи, отчеты, книги и т. д.), показатели эффективности внедрения разработок (оцениваются количество полученных и поданных контрактов, доходы от них, количество поданных заявок и полученных патентов, лицензий и доходы от них и др.), показатели вклада университета в социальное развитие региона (включены такие показатели, как количество проживающих сотрудников, ППС, студентов в черте города, в пригородах, в регионе; количество сотрудников и ППС университета, участвующих в благотворительных фондах и волонтерских проектах; количество генеральных директоров и топ-менеджеров из числа сотрудников и ППС университета, участвующих в руководстве различными проектами, а также в программах повышения квалификации региона; количество школьников и студентов, охваченных информационно-просветительской программой университета) [45].

Существуют некоторые разработки по решению задачи в российском научном сообществе, одной из них является модель для оценки вклада образования в социально-экономическое развитие Российской Федерации и ее субъектов С. А. Белякова и Т. Л. Клячко [46]. С. А. Беляков и Т. Л. Клячко оценивают потенциальный вклад образования в социально-экономическое развитие региона, обусловленное наращиванием человеческого капитала (в узком его значении), который предлагается рассчитывать по абсолютному значению (учитываются такие показатели, как средняя заработная плата выпускников учебного заведения, численность выпускников, коэффициент выходы на рынок труда выпускников) и по отношению к валовому региональному продукту.

Разработанные модели являются узкими для оценивания вклада деятельности высших учебных заведений в социально-экономическое развитие региона. В первом и во втором случае можно говорить лишь о финансовой составляющей в упрощенном варианте.

В зарубежной практике задача по оценке влияния университетов на социально-экономическое развитие регионов проработана более тщательно, чем в российской практике, где это задача появилась относительно недавно – с момента создания федеральных университетов.

Статистический анализ проводится по трем блокам: доходы и расходы университетов, трудовой потенциал вузов (занятость персонала), структура выпуска.

Для начала проанализируем финансовые показатели деятельности системы высшего образования. В главе анализ проводится по показателям

деятельности государственных высших образовательных учреждений.

Университеты, как упоминалось ранее, наряду с основными функциями занимаются коммерческой деятельностью. В этой связи встает вопрос о включении университетов в рейтинги крупнейших предприятий России.

Оценивая федеральное значение вузов, стоит отметить, что по итогам работы в 2014 г. совокупный доход 286<sup>1</sup> вузов составил 434,3 млрд руб., что на 25 % больше, чем в 2013 г. Если бы в рейтинге крупнейших предприятий России учитывались образовательные учреждения, то в топ-400 2014 г. Московский государственный университет с доходом 22,5 млрд руб. мог бы занять 342-е место. В этом же ракурсе среди 200 крупнейших компаний непромышленного сектора МГУ имени М. В. Ломоносова – 167-е место, Санкт-Петербургский государственный университет – 197-е место.

Рассматривая региональное значение высших учебных заведений на примере Урала, можно отметить, что совокупный доход вузов, которые вошли бы в число крупнейших компаний Урала и Западной Сибири в 2014 году составляет 19,1 млрд руб.<sup>2</sup>, или 0,2 % совокупной выручки 400 крупнейших компаний, что составляет 1,3 % совокупной выручки компаний непромышленного сектора, и 2,4 % совокупной выручки компаний непромышленного сектора, за вычетом отраслей «оптовая торговля» и «розничная торговля».

Продолжая анализ регионального значения вузов, отметим, что вуз является зарплатоемким процессом, и, следовательно, большая часть отчисляемых налогов составляет налог на доходы физических лиц. К примеру, Уральский федеральный университет (УрФУ) входит в число крупнейших налогоплательщиков г. Екатеринбурга, на долю УрФУ приходится 6,5 % налога на доходы физических лиц, отчисляемого в бюджет города (напомним, что налог на доходы физических лиц формирует местный и региональный бюджет в отношении 30/70, то есть 30 % формирует доходную базу местного бюджета, 70 % – региональный).

На основе финансовых показателей деятельности высших учебных заведений можно говорить о том, что вузы расширяют свою значимость – помимо образовательной и научной деятельности, они способны на равных

---

<sup>1</sup> По данным Аналитической компоненты комплексной системы управления финансами Минобрнауки (АК КСУФ) и «Информационно-аналитические материалы по результатам проведения мониторинга эффективности образовательных организаций высшего образования».

<sup>2</sup> Там же.

условиях с предприятиями выполнять предпринимательскую деятельность, что в свете расширения функций университетов (добавление социальной) становится неотъемлемой частью их функционирования.

Кроме финансовой составляющей, вузы обеспечивают занятость населения. В целом по Уральскому федеральному округу в системе высшего образования в 2013 г. занято около 8 % от общего числа занятых в экономике, по России картина по занятости аналогичная: 8 % занятость в системе высшего образования от общей занятости населения, при этом 14 % от общей занятости приходится на систему высшего образования от общей занятости населения, из них в системы высшего образования – около 1 %, наибольшая занятость в системе образования приходится на государственные и муниципальные общеобразовательные организации (общеобразовательные школы), занятость приближается к 45 % [47] от общей занятости в системе образования.

Важным компонентом при анализе влияния функционирования системы высшего образования на социально-экономическое положение региона является подготовка новых специалистов, в этой связи необходим анализ структуры выпуска.

Анализ приведенных данных позволяет увидеть сформировавшуюся диспропорцию в структуре выпуска профессиональных кадров, характеризующуюся критическим смещением баланса в сторону гуманитарных и общественных наук.

Если в 1990 г. специальности экономики и управления, гуманитарно-социальные и естественно-научные специальности занимали около 14, 12 и 9 % соответственно в структуре выпуска государственных вузов, то в 2013 г. на долю экономики и управления приходилось 33 % выпуска, на гуманитарные и социальные науки – 18 %, а на естественные и физико-математические науки лишь 3% [48].

С учетом выпуска из негосударственных вузов картина становится еще более удручающей. Итак, в 2013 г. 485,3 тыс. человек получили дипломы о высшем образовании по связанным с экономикой и управлением специальностям, что составляет более 37 % от всех выпущенных в стране специалистов. 270,5 тыс. человек стали специалистами в области гуманитарных и социальных наук (21 % общего выпуска), лишь 86,3 тыс. человек получили профессии, связанные с металлургией, материаловедением, машиностроением, энергетикой, электротехникой и сельским хозяйством (6,7 %), и лишь 57,9 тыс. человек получили профессиональное

образование в области физико-математических и естественных наук, информатики и вычислительной техники (4,5 %).

Приведенные данные свидетельствуют о том, что выпуск специалистов по важнейшим группам специальностей, которые являются двигателями научно-технического прогресса и от которых зависят возможности реиндустриализации экономики страны, за прошедшие двадцать лет упал до критического минимума. Если же мы проанализируем изменение структуры выпуска в контексте Перечня критических технологий [49], утвержденных Президентом РФ в 2011 г., то увидим следующую картину. Десять из 27 критических технологий связаны с биотехнологиями, медициной и информационными технологиями, либо находятся на их стыке, это биокаталитические, биосинтетические и биосенсорные технологии; биомедицинские и ветеринарные технологии; геномные, протеомные и постгеномные технологии; клеточные технологии; технологии биоинженерии; компьютерное моделирование наноматериалов, наноустройств и нанотехнологий; нано-, био-, информационные, когнитивные технологии; технологии доступа к широкополосным мультимедийным услугам; технологии информационных, управляющих, навигационных систем; технологии и программное обеспечение распределенных и высокопроизводительных вычислительных систем. Численность выпускников по группе специальностей «Химическая и биотехнологии» снизилась с 10,7 тыс. человек в 2005 г. до 10,2 тыс. человек в 2013 г. и составляет лишь около 1 % в общем выпуске государственных вузов. По специальностям, связанным с медициной, абсолютная численность выпускников выросла с 24,6 тыс. человек в 1990 г. до 36,0 тыс. человек в 2013 г., но их доля в общем выпуске государственных вузов за весь период снизилась почти вдвое (и составила величину менее 3,5 %). По специальностям «Автоматика и управление» численность выпускников выросла с 10,8 тыс. человек в 1990 г. до 15,8 тыс. человек в 2013 г., однако их доля в общем выпуске составила чуть менее 1,5 % (снизилась почти вдвое). По группе специальностей «Информатика и вычислительная техника» наметился рост выпуска: абсолютное число выпускников в 2013 г. составило 25,7 тыс. человек (2,4 % от общего объема специалистов с высшим образованием), что в 3,6 раза больше, чем в 1990 году. Пять из 27 критичных технологий связаны с группой специальностей «Энергетика, энергомашиностроение, электротехника», это базовые технологии силовой электротехники; технологии атомной энергетики, ядерного топливного цикла, безопасного

обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом; технологии новых и возобновляемых источников энергии, включая водородную энергетику; технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии; технологии энергоэффективного производства и преобразования энергии на органическом топливе. Численность выпускников по данной группе специальностей выросла с 11,6 тыс. человек в 1990 г. до 28,0 тыс. человек в 2013 г., однако их доля в общем выпуске государственных вузов выросла за весь период менее чем на 0,5 % и составила всего 2,6 %. Еще семь из 27 критических технологий связаны с материалобработкой, машиностроением и электроникой, это технологии наноустройств и микросистемной техники; технологии получения и обработки функциональных наноматериалов; технологии диагностики наноматериалов и наноустройств; технологии получения и обработки конструкционных наноматериалов; технологии создания высокоскоростных транспортных средств и интеллектуальных систем управления новыми видами транспорта; технологии создания ракетно-космической и транспортной техники нового поколения; технологии создания электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств. Доля выпуска в общем выпуске государственных вузов по группе специальностей «Металлургия, машиностроение и материалобработка» к 2013 г. снизилась в два раза и достигла 2,2 %; «Электронная техника, радиотехника и связь» снизилась в 2,5 раза, до 1,4 %; «Авиационная и ракетно-космическая техника» снизилась в 2,3 раза, до 0,5 %. Таким образом, всего около 15 % выпуска в 2013 г. приходилось на специальности, в рамках которых возможно будет выпущено лишь некоторое количество специалистов, способных работать по направлениям, имеющим отношение к критическим технологиям.

Приведенные данные позволяют увидеть сформировавшуюся диспропорцию в структуре выпуска профессиональных кадров, характеризующуюся дисбалансом структуры выпуска по уровням профессионального образования, а также критическим смещением баланса в структуре выпуска специалистов с высшим образованием в сторону гуманитарных и общественных наук [50].

Кроме того, анализ занятости по уровню образования показывает, что наибольший темп роста по безработице у населения с высшим образованием (среди всех уровней образования), в 2000 г. безработных с высшим образованием было 10 % от общего числа безработных, в 2013 г. – 17 %.

Слабая ориентированность учебных заведений на актуальные потребности национальной экономики приводит к снижению эффективности всей системы отечественного профессионального образования.

Как упоминалось ранее, социальная функция высших учебных заведений проявляется не только во взаимодействии «вуз – регион», но и во взаимодействии «вуз – внутренняя (корпоративная) среда университета».

Социальная функция по отношению к внутренней среде высших учебных заведений проявляется не только в реализации социальных программ, но и оптимизации структуры персонала по занимаемым должностям, заработной плате и другим показателям.

В целом по вузам Уральского федерального округа наблюдается расширение административно-хозяйственного персонала и уменьшение доли профессорско-преподавательского состава. Если в 2009 г. ППС было 43 % от общей численности, то в 2013 г. данный показатель составляет 40 %, что касается административно-хозяйственного персонала (АХП), то в 2009 г. – 54 %, а в 2013 г. – 57 %, то есть на каждого ППС в среднем в 2009 г. приходилось 1,2 АХП, в 2013 г. – 1,4 АХП. Такая тенденция в изменении кадровой структуры вуза свидетельствует о снижении эффективности распределения ставок, что является ограничением для полноценной реализации учебным заведением своей социальной функции.

Высшему образованию принадлежит важнейшая роль в процессах, определяющих основные параметры общества: университеты выполняют функцию регуляторов формирования, изменения и поддержания социальных структур. Во-первых, образовательные учреждения ответственны за трансляцию знаний – за передачу знаний, умений, навыков от поколения к поколению, без чего общество очевидным образом не может поддерживать свое существование и развиваться. Во-вторых, в университетах, как в России, так и на Западе, ведется научно-исследовательская деятельность, а следовательно, во многом определяются основные тенденции развития общества. В-третьих, вузы поставляют обществу профессионалов определенного уровня, без участия которых не может функционировать национальная экономика, культура, обеспечиваться порядок и безопасность. В-четвертых, в вузах готовится элита общества в области политики, экономики, науки, культуры: от того, как и кого готовят в качестве элиты, непосредственно зависит судьба общества. Наконец, в-пятых, вузы в значительной степени способствуют размыванию социальных барьеров в обществе: именно получение высшего образования обычно выступает

предпосылкой повышения социального статуса, перемещения по вертикали из одного социального слоя в другой. Следовательно, общество весьма заинтересовано в максимальной доступности высшего образования, в снятии препятствий к получению высшего образования всеми, кто обладает соответствующими способностями, независимо от социальных, экономических и географических факторов. Вузы могут и обязательно должны играть существенную роль в развитии своих регионов.

## **§2. Моделирование развития системы образования при изменении макро- и мезоэкономических условий**

Для оценки состояния системы высшего образования России предложено использовать индикативный метод анализа [50], который позволяет определить степень соответствия достигнутых на рассматриваемый момент времени или прогнозируемых значений индикаторов тем пороговым значениям, которые отвечают требованиям развития социума, обеспечения условий устойчивого развития и экономической безопасности территорий с учетом достигнутого уровня и поставленных целей развития.

Применение данного метода позволяет получить диагностическую картину состояния системы высшего профессионального образования в целом, а также в разрезе характеризующих ее функционирование групп индикаторов и отдельных индикативных показателей для каждого субъекта Российской Федерации (рис. 4.6).

Диагностика состояния системы высшего профессионального образования проводится по индикативным показателям, сгруппированным в три блока:

- а) условия функционирования и состояние инфраструктуры системы высшего профессионального образования;
- б) состояние образовательной и научно-исследовательской деятельности в системе высшего профессионального образования;
- в) влияние функционирования системы высшего профессионального образования на экономику и население региона.

Блок условий функционирования и состояния инфраструктуры системы высшего профессионального образования оценивается по условиям финансирования системы ВПО, состоянию основных фондов и условий обучения в системе высшего образования, состоянию ее кадрового потенциала.

Блок состояния образовательной и научно-исследовательской деятельности в системе ВО характеризуется состоянием научно-исследовательского потенциала профессорско-преподавательского состава, образовательного и исследовательского потенциала студентов, результативностью научно-исследовательской деятельности ППС.

Состояние блока влияния функционирования системы высшего образования на экономику и население региона предполагается определить через уровень доступности получения высшего профессионального образования для населения, уровень востребованности в экономике специалистов с высшим профессиональным образованием и баланс потребностей рынка труда и выпуска системы высшего образования.

В основу методики оценки состояния системы высшего профессионального образования положен метод индикативного анализа, использующий в качестве инструмента приведения выраженных в различных натуральных единицах индикаторов в индексную (нормализованную) форму сопоставление значений данных индикаторов с их пороговыми значениями согласно системе правил [52, с. 29–38].

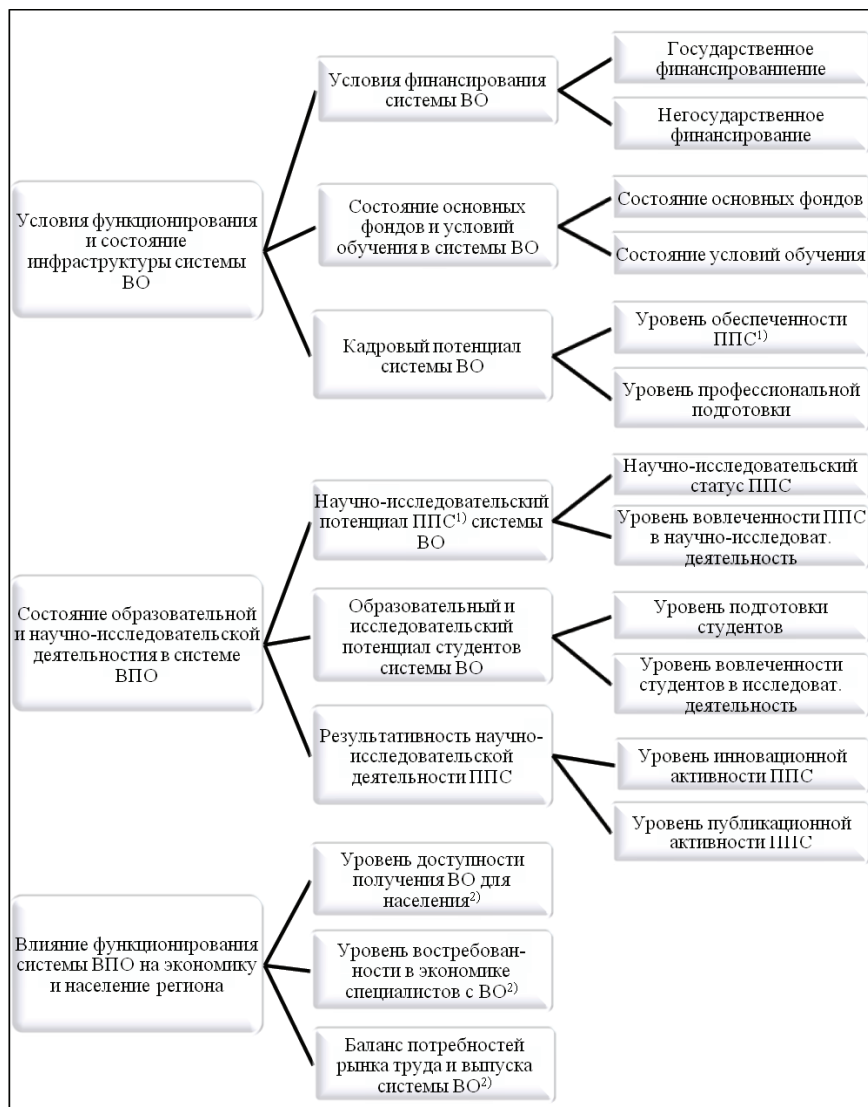
Разработанный в рамках Уральской экономической школы во главе с академиком РАН А. И. Татаркиным, доктором экономических наук, профессором А. А. Куклиным и доктором технических наук, профессором А. Л. Мызиным подход широко применялся для оценки состояния экономической, энергетической, социально-демографической, инновационной безопасности территорий, для оценки качества жизни и состояния национального богатства регионов России.

С целью удобства получения характеристик уровня развития системы высшего образования субъектов РФ предлагается классифицировать ее состояние на низкий, средний и высокий уровни (табл. 4.12).

В табл. 4.12 представлена адаптация применения классификации ситуаций по индикативным показателям оценки экономической безопасности к оценке состояния системы высшего образования.

Целью классификации состояний системы высшего профессионального образования является установление уровней ее развития последовательно по каждому индикатору, индикативному блоку и интегрально по системе в целом с отнесением состояния к определенному классу. Первый блок индикаторов: условия функционирования и состояние инфраструктуры системы высшего образования представлен на рис. 4.7.





Примечания: ¹) ППС – профессорско-преподавательский состав; ²) данные модули находятся на стадии разработки.

Рис. 4.6. Структура диагностики состояния системы высшего образования

Таблица 4.12

**Классификация ситуаций по индикативным показателям для характеристики состояния экономической безопасности и системы высшего образования территории**

<b>Характеристика состояния</b>		<b>Соотношение нормализованных значений индикаторов и пороговых уровней</b>	<b>Адаптация пороговых уровней для характеристики состояния системы ВПО</b>
<b>Экономической безопасности</b>	<b>Системы ВПО</b>		
Нормальное, Н	Высокий уровень развития системы ВПО, В		$0 \leq X_{ji}^H <$
Предкризис 1 (начальный), ПК1			
Предкризис 2 (развивающийся), ПК2		$X_{ПК2,ji}^H \leq X_{ji}^H < X_{ПК3,ji}^H$	
Предкризис 3 (критический), ПК3	Средний уровень развития системы ВПО, С	$X_{ПК3,ji}^H \leq X_{ji}^H < 1$	$X_{ПК3,ji}^H \leq X_{ji}^H < X_{К2,ji}^H$
Кризис 1 (нестабильный), К1		$1 \leq X_{ji}^H <$	
Кризис 2 (угрожающий), К2	Низкий уровень развития системы ВПО, Н	$X_{К2,ji}^H \leq X_{ji}^H < X_{К3,ji}^H$	$X_{ji}^H \geq X_{К2,ji}^H$
Кризис 3 (чрезвычайный), К3		$X_{ji}^H \geq X_{К3,ji}^H$	

Синтетический индикативный показатель финансирования системы высшего профессионального образования.

Удельный показатель государственного финансирования системы высшего профессионального образования ( $\alpha_{\text{фин.гос.}}^t$ ), тыс. руб./чел.

$$\alpha_{\text{фин.гос.}}^t = \frac{Q_{\text{фин.гос.}}^t}{N_{\text{сотруд.}}^t}, \quad (4.3)$$

где  $Q_{\text{фин.гос.}}^t$  – объем государственного финансирования системы ВПО, тыс. руб.;

$N_{\text{сотруд}}^t$  – общая численность штатных работников (без совместителей) государственных (муниципальных) высших учебных заведений, чел.

Удельный показатель негосударственного финансирования системы высшего профессионального образования ( $\alpha_{\text{фин.негос.}}^t$ ), тыс. руб./чел.

$$\alpha_{\text{фин.негос.}}^t = \frac{Q_{\text{фин.негос.}}^t}{N_{\text{сотруд}}^t}, \quad (4.4)$$

где  $Q_{\text{фин.негос.}}^t$  – объем негосударственного финансирования системы высшего образования, тыс. руб.

Синтетический индикативный показатель состояния фондов и условий обучения в системе высшего образования представлен на рис. 4.8.

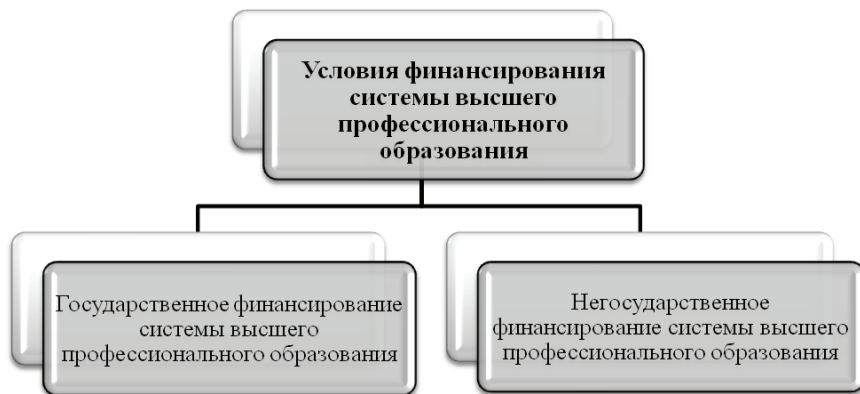


Рис. 4.7. Индикаторы модуля «Условия финансирования системы в системе высшего образования»

Синтетический индикативный показатель состояния основных средств, машин и оборудования высшего образования.

Удельная стоимость основных средств, машин и оборудования высших учебных заведений ( $\alpha_{\text{осн.ср.,маш.и оборуд.}}^t$ ), тыс. руб./чел.

$$\alpha_{\text{осн.ср.,маш.и оборуд.}}^t = \frac{Q_{\text{осн.ср.}}^t + Q_{\text{маш.и оборуд.}}^t}{N_{\text{сотруд}}^t}, \quad (4.5)$$

где  $Q_{\text{осн.ср.}}^t$  – стоимость основных средств государственных (муниципальных) высших учебных заведений, тыс. руб.;

$Q_{\text{маш.и оборуд.}}^t$  – стоимость машин и оборудования государственных (муниципальных) высших учебных заведений, тыс. руб.;



Рис. 4.8. Индикаторы модуля «Состояние основных фондов и условий обучения в системе высшего образования»

Удельная стоимость основных средств, машин и оборудования, приобретенных в анализируемый период высших учебных заведений ( $\alpha_{\text{приобрет.осн.ср.маш.и оборуд.}}^t$ ), тыс. руб./чел.

$$\alpha_{\text{приобрет.осн.ср.маш.и оборуд.}}^t = \frac{Q_{\text{приобрет.осн.ср.}}^t + Q_{\text{приобрет.машин.и оборуд.}}^t}{N_{\text{сотруд.}}^t}, \quad (4.6)$$

где  $Q_{\text{приобрет.осн.ср.}}^t$  – стоимость основных средств государственных (муниципальных) высших учебных заведений, приобретенных в анализируемый период, тыс. руб.;

$Q_{\text{приобрет.машин.и оборуд.}}^t$  – стоимость машин и оборудования государственных (муниципальных) высших учебных заведений, приобретенных в анализируемый период, тыс. руб.

*Синтетический индикативный показатель условий обучения системы высшего профессионального образования.*

Удельный показатель площади зданий высших учебных заведений ( $\alpha_{плзд}^t$ ), кв. м/чел.

$$\alpha_{плзд}^t = \frac{S_{плзд}^t}{N_{сотруд}^t + N_{студочн.ф.}^t}, \quad (4.7)$$

где  $S_{плзд}^t$  – площадь зданий государственных (муниципальных) высших учебных заведений, кв. м;

$N_{студочн.ф.}^t$  – общая численность студентов (очной формы обучения) государственных (муниципальных) высших учебных заведений, чел.



Рис. 4.9. Индикаторы модуля «Состояние кадрового потенциала системы высшего профессионального образования»

Учебно-лабораторная площадь зданий высших учебных заведений ( $\alpha_{пл.уч.-лаб.}^t$ ), кв. м/чел.

$$\alpha_{пл.уч.-лаб.}^t = \frac{S_{пл.уч.-лаб.}^t}{N_{ППС}^t + N_{науч.работ.спец}^t + N_{студ.очн.ф.}^t}, \quad (4.8)$$

где  $S_{\text{пл.уч.-лаб.}}^t$  – учебно-лабораторная площадь зданий государственных (муниципальных) высших учебных заведений, кв. м;

$N_{\text{ппс}}^t$  – общая численность профессорско-преподавательского состава (по основной должности) государственных (муниципальных) высших учебных заведений, чел.

$N_{\text{науч.работ.спец}}^t$  – общая численность руководителей структурных подразделений, научных и научно-технических работников (по основной должности) государственных (муниципальных) высших учебных заведений, чел.

Синтетический индикативный показатель кадрового потенциала системы высшего образования представлен на рис. 4.9.

*Синтетический индикативный показатель уровня обеспеченности профессорско-преподавательским составом системы высшего профессионального образования.*

Доля профессорско-преподавательского состава и научных работников в общей численности работников высших учебных заведений ( $\alpha_{\text{ппс}}^t$ ), %.

$$\alpha_{\text{ппс}}^t = \frac{N_{\text{ппс}}^t + N_{\text{науч.работ.спец}}^t}{N_{\text{сотруд.}}^t} \cdot 100. \quad (4.9)$$

Количество студентов на одного преподавателя высших учебных заведений ( $\alpha_{\text{ппс}}^{\text{студ.}}$ ), чел.

$$\alpha_{\text{ппс}}^{\text{студ.}} = \frac{N_{\text{студ.}}^t}{N_{\text{ппс совм}}^t}, \quad (4.10)$$

где  $N_{\text{студ.}}^t$  – общая численность студентов государственных (муниципальных) высших учебных заведений, чел.;

$N_{\text{ппс совм}}^t$  – общая численность профессорско-преподавательского состава (с учетом совместителей) государственных (муниципальных) высших учебных заведений, чел.

Синтетический индикативный показатель уровня профессиональной подготовки кадров системы высшего профессионального образования.

Удельный показатель численности работников высших учебных заведений, имеющих ученую степень доктора наук ( $\alpha_{\text{ппс докт. наук}}^t$ ), %

$$\alpha_{\text{ппс докт. наук}}^t = \frac{N_{\text{сотруд докт. наук}}^t}{N_{\text{сотруд.}}^t} \cdot 100, \quad (4.11)$$

где  $N_{\text{сотруд.докт.наук}}^t$  – общая численность сотрудников государственных (муниципальных) высших учебных заведений, имеющих ученую степень доктора наук, чел.

Удельный показатель численности работников высших учебных заведений, имеющих ученую степень кандидата наук ( $\alpha_{\text{ППСканд.наук}}^t$ ), %.

$$\alpha_{\text{ППСканд.наук}}^t = \frac{N_{\text{сотруд.канд.наук}}^t}{N_{\text{сотруд.}}^t} \cdot 100, \quad (4.12)$$

где  $N_{\text{сотруд.канд.наук}}^t$  – общая численность сотрудников государственных (муниципальных) высших учебных заведений, имеющих ученую степень кандидата наук, чел.

Диагностика состояния образовательной и научно-исследовательской деятельности системы высшего профессионального образования представлена в блоке 2. Синтетический индикативный показатель научно-исследовательского потенциала профессорско-преподавательского состава системы высшего профессионального образования на рис. 4.10.

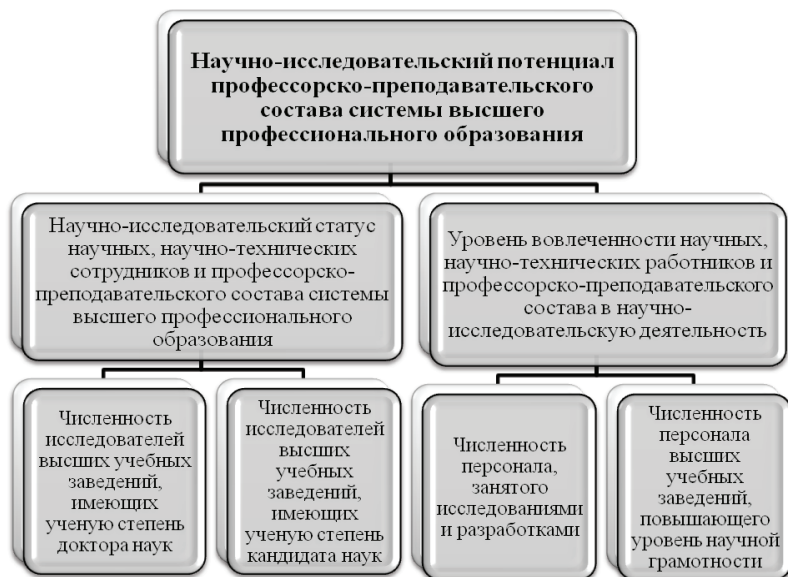


Рис. 4.10. Индикаторы модуля «Состояние научно-исследовательского потенциала профессорско-преподавательского состава системы высшего образования»

*Синтетический индикативный показатель научно-исследовательского статуса научных, научно-технических сотрудников и профессорско-преподавательского состава системы высшего профессионального образования.*

Удельный показатель численности исследователей высших учебных заведений, имеющих ученую степень доктора наук ( $\alpha_{\text{науч.сотр.докт.наук}}^t$ ), %.

$$\alpha_{\text{науч.сотр.докт.наук}}^t = \frac{N_{\text{науч.сотр.докт.наук}}^t + N_{\text{ППСдокт.наук}}^t}{N_{\text{науч.работ.спец}}^t + N_{\text{ППС}}^t} \cdot 100, \quad (4.13)$$

где  $N_{\text{науч.сотр.докт.наук}}^t$  – общая численность исследователей (без совместителей) государственных (муниципальных) высших учебных заведений, имеющих ученую степень доктора наук, чел.;

$N_{\text{ППСдокт.наук}}^t$  – общая численность профессорско-преподавательского состава (без совместителей) государственных (муниципальных) высших учебных заведений, имеющего ученую степень доктора наук, чел.

Удельный показатель численности исследователей высших учебных заведений, имеющих ученую степень кандидата наук ( $\alpha_{\text{канд.наук.науч.сотр.}}^t$ ), %

$$\alpha_{\text{канд.наук.науч.сотр.}}^t = \frac{N_{\text{науч.сотр.канд.наук}}^t + N_{\text{ППСканд.наук}}^t}{N_{\text{науч.работ.спец}}^t + N_{\text{ППС}}^t} \cdot 100, \quad (4.14)$$

где  $N_{\text{науч.сотр.канд.наук}}^t$  – общая численность исследователей (без совместителей) государственных (муниципальных) высших учебных заведений, имеющих ученую степень кандидата наук, чел.;

$N_{\text{ППСканд.наук}}^t$  – общая численность профессорско-преподавательского состава (без совместителей) государственных (муниципальных) высших учебных заведений, имеющего ученую степень кандидата наук, чел.

Синтетический индикативный показатель уровня вовлеченности научных, научно-технических работников и профессорско-преподавательского состава в научно-исследовательскую деятельность.

Расходы на НИОКР в расчете на одного занятого научно-исследовательской работой ( $\alpha_{\text{науч.сотр.}}^t$ ), тыс. руб./чел.

$$\alpha_{\text{науч.сотр.}}^t = \frac{Q_{\text{фин.НИОКР}}^t}{N_{\text{ППС}}^t + N_{\text{науч.работ.спец}}^t}. \quad (4.15)$$



Удельный показатель численности персонала высших учебных заведений, защищающего диссертационные работы, количество защит/100 чел.

$$\alpha_{\text{защит.работ.ВУЗ}}^t = \frac{N_{\text{защит.работ.ВУЗ}}^t}{N_{\text{ППС}}^t + N_{\text{науч.работ.спец}}^t - N_{\text{ППСдокт.наук}}^t - N_{\text{науч.сотр.докт.наук}}^t} \cdot 100, (4.16)$$

где  $N_{\text{защит.работ.ВУЗ}}^t$  – количество защит докторских и кандидатских диссертаций, работниками государственных (муниципальных) высших учебных заведений, чел.

Синтетический индикативный показатель образовательного и исследовательского потенциала студентов системы высшего образования (рис. 4.11).

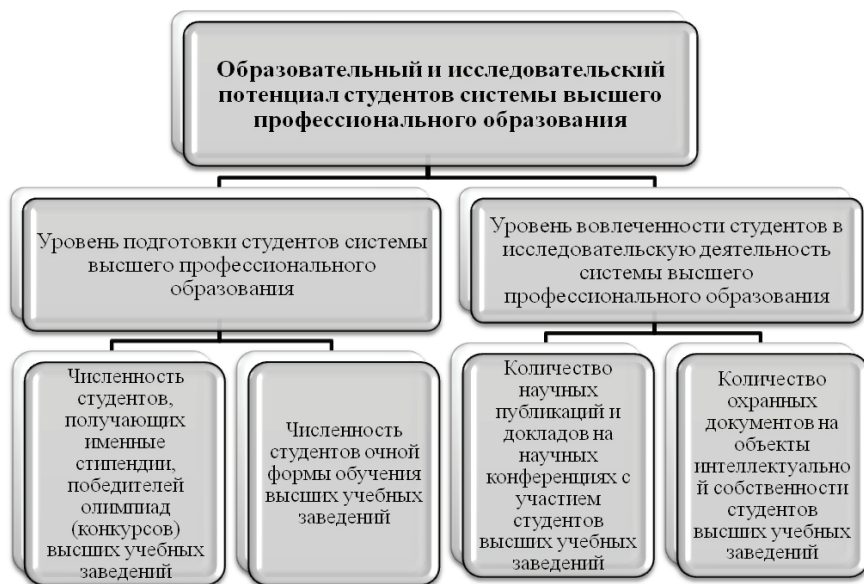


Рис. 4.11. Индикаторы модуля «Состояние образовательного и исследовательского потенциала студентов системы высшего образования»

*Синтетический индикативный показатель уровня подготовки студентов системы высшего образования.*

Удельная численность студентов, получающих именные стипендии, победителей олимпиад (конкурсов) высших учебных заведений ( $\alpha_{\text{стипенд.студ}}^t$ ), %

$$\alpha_{\text{стипенд.студ.}}^t = \frac{N_{\text{стипенд.студ.}}^t}{N_{\text{студ.очн.ф.}}^t} \cdot 100, \quad (4.17)$$

где  $N_{\text{стипенд.студ.}}^t$  – численность студентов государственных (муниципальных) высших учебных заведений, получивших медали, дипломы, грамоты на выставках и конкурсах на лучшую научно-исследовательскую работу, чел.

Удельная численность студентов очной формы обучения высших учебных заведений ( $\alpha_{\text{студ.очн.ф.}}^t$ ), %

$$\alpha_{\text{студ.очн.ф.}}^t = \frac{N_{\text{студ.очн.ф.}}^t}{N_{\text{студ.}}^t} \cdot 100, \quad (4.18)$$

где  $N_{\text{студ.очн.ф.}}^t$  – общая численность студентов (очной формы обучения) государственных (муниципальных) высших учебных заведений, чел.

*Синтетический индикативный показатель уровня вовлеченности студентов в исследовательскую деятельность системы высшего профессионального образования.*

Удельный показатель количества научных публикаций и докладов на научных конференциях с участием студентов высших учебных заведений ( $\alpha_{\text{студ.науч.публик.}}^t$ ), ед./100 человек

$$\alpha_{\text{студ.науч.публик.}}^t = \frac{N_{\text{студ.науч.публик.}}^t + N_{\text{студ.докл.конф.}}^t + N_{\text{студ.экспонат.}}^t}{N_{\text{студ.очн.ф.}}^t} \cdot 100, \quad (4.19)$$

где  $N_{\text{студ.науч.публик.}}^t$  – количество научных публикаций с участием студентов государственных (муниципальных) высших учебных заведений, единиц;

$N_{\text{студ.докл.конф.}}^t$  – количество докладов на научных конференциях с участием студентов государственных (муниципальных) высших учебных заведений, единиц;

$N_{\text{студ.экспонат.}}^t$  – количество экспонатов, представленных на выставках с участием студентов государственных (муниципальных) высших учебных заведений, единиц.

Удельный показатель количества охранных документов на объекты интеллектуальной собственности студентов высших учебных заведений ( $\alpha_{\text{студ.интел.собст.}}^t$ ), ед./10 000 чел.

$$\alpha_{\text{студинтел.собст.}}^t = \frac{N_{\text{студинтел.собст.}}^t}{N_{\text{студ.очн.ф.}}^t} \cdot 10000, \quad (4.20)$$

где  $N_{\text{студинтел.собст.}}^t$  – количество охранных документов на объекты интеллектуальной собственности студентов государственных (муниципальных) высших учебных заведений, единиц.

Состав синтетического индикативного показателя результативности научно-исследовательской деятельности системы высшего образования представлен на рис. 4.12.

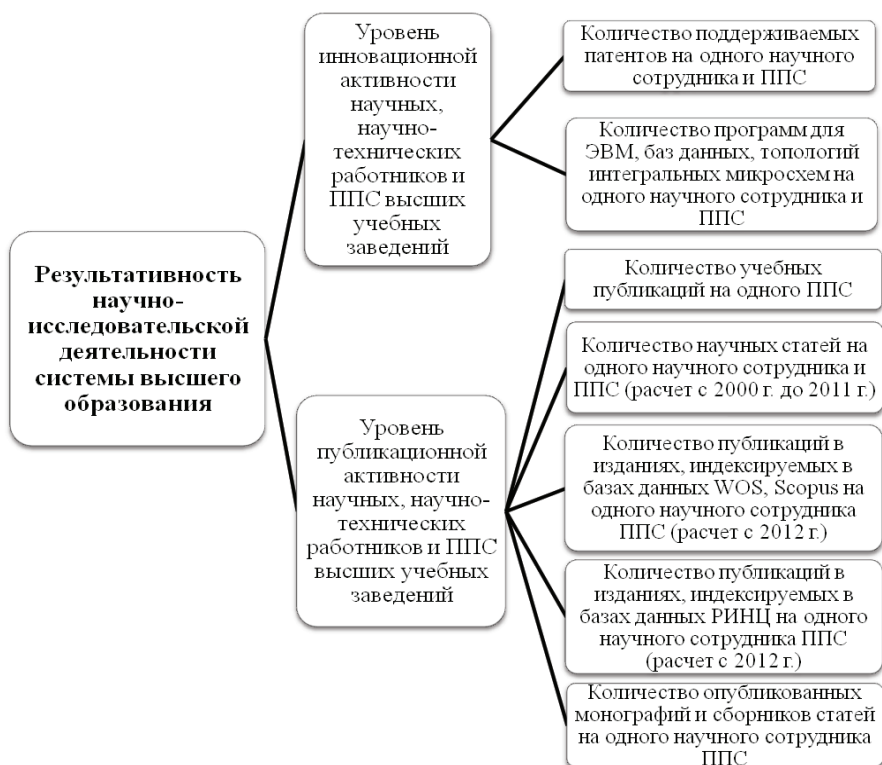


Рис. 4.12. Индикаторы модуля «Результативность научно-исследовательской деятельности системы высшего образования»

*Синтетический индикативный показатель уровня инновационной активности научных, научно-технических работников и профессорско-преподавательского состава системы высшего образования.*

Удельный показатель количества поддерживаемых патентов на одного научного сотрудника и преподавателя высших учебных заведений ( $\alpha_{\text{поддерж.патент.}}^t$ ), ед./1 000 чел.

$$\alpha_{\text{поддерж.патент.}}^t = \frac{Q_{\text{поддерж.патент.}}^t}{N_{\text{науч.работ.спец}}^t + N_{\text{ППС}}^t} \cdot 1000, \quad (4.21)$$

где  $Q_{\text{поддерж.патент.}}^t$  – количество поддерживаемых патентов государственными (муниципальными) высшими учебными заведениями, единиц.

Удельный показатель количества программ для ЭВМ, баз данных, топологий интегральных микросхем на одного научного сотрудника и преподавателя высших учебных заведений ( $\alpha_{\text{прогр.ЭВМ}}^t$ ), ед./1 000 чел.

$$\alpha_{\text{прогр.ЭВМ}}^t = \frac{Q_{\text{прогр.ЭВМ}}^t}{N_{\text{науч.работ.спец}}^t + N_{\text{ППС}}^t} \cdot 1000, \quad (4.22)$$

где  $Q_{\text{объект прогр.ЭВМ}}^t$  – количество программ для ЭВМ, баз данных, топологий интегральных микросхем зарегистрированных государственными (муниципальными) высшими учебными заведениями, единиц.

*Синтетический индикативный показатель уровня публикационной активности научных, научно-технических работников и профессорско-преподавательского состава.*

Удельный показатель количества учебных публикаций на одного преподавателя высших учебных заведений ( $\alpha_{\text{учеб.публик.}}^t$ ), ед./100 человек.

$$\alpha_{\text{учеб.публик.}}^t = \frac{Q_{\text{учеб.публик.}}^t}{N_{\text{ППС}}^t} \cdot 100, \quad (4.23)$$

где  $Q_{\text{учеб.публик.}}^t$  – общее количество опубликованных учебников и учебных пособий, сотрудниками государственных (муниципальных) высших учебных заведений, ед.

Удельный показатель количества научных статей на одного научного сотрудника и преподавателя высших учебных заведений ( $\alpha_{\text{науч.статьи}}^t$ ), ед./чел. Показатель считается до 2012 г.

$$\alpha_{\text{науч.стат.}}^t = \frac{Q_{\text{науч.стат.}}^t}{N_{\text{науч.работ.спец}}^t + N_{\text{ППС}}^t}, \quad (4.24)$$

где  $Q_{\text{науч.стат.}}^t$  – общее количество опубликованных научных статей сотрудниками государственных (муниципальных) высших учебных заведений, ед.

Удельный показатель количества опубликованных монографий и сборников статей на одного научного сотрудника и преподавателя высших учебных заведений  $\alpha_{\text{монограф.}}^t$ , ед./100 чел.

$$\alpha_{\text{монограф.}}^t = \frac{Q_{\text{монограф.}}^t + Q_{\text{сборн.науч.тр.}}^t}{N_{\text{науч.работ.спец}}^t + N_{\text{ППС}}^t} \cdot 100, \quad (4.25)$$

где  $Q_{\text{монограф.}}^t$  – общее количество опубликованных монографий сотрудниками государственных (муниципальных) высших учебных заведений, ед.;

$Q_{\text{сборн.науч.тр.}}^t$  – общее количество опубликованных сборников научных трудов сотрудниками государственных (муниципальных) высших учебных заведений, ед.

Количество публикаций в изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science, Scopus ( $\alpha_{\text{заруб.стат.}}^t$ ), ед./100 чел. Показатель считается с 2012 г.

$$\alpha_{\text{заруб.стат.}}^t = \frac{Q_{\text{заруб.стат.}}^t}{N_{\text{науч.работ.спец}}^t + N_{\text{ППС}}^t} \cdot 100, \quad (4.26)$$

где  $Q_{\text{заруб.стат.}}^t$  – общее количество публикаций в изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science, Scopus, сотрудниками государственных (муниципальных) высших учебных заведений, ед.

Количество публикаций в изданиях, индексируемых в базах данных РИНЦ ( $\alpha_{\text{стат.РИНЦ}}^t$ ), ед./100 человек. Показатель считается с 2012 г.

$$\alpha_{\text{стат.РИНЦ}}^t = \frac{Q_{\text{стат.РИНЦ}}^t}{N_{\text{науч.работ.спец}}^t + N_{\text{ППС}}^t} \cdot 100, \quad (4.27)$$

где  $Q_{\text{стат.РИНЦ}}^t$  – общее количество публикаций в изданиях, индексируемых в базах данных РИНЦ, сотрудниками государственных (муниципальных) высших учебных заведений, ед.

**Блок индикативных показателей влияния функционирования системы высшего образования на экономику и население региона включает в себя:**

1. Синтетический индикативный показатель уровня доступности образования.
2. Синтетический индикативный показатель уровня востребованности в экономике специалистов с высшим образованием.
3. Синтетический индикативный показатель баланса потребностей рынка труда и выпуска системы высшего образования.

### **§3. Имитационное моделирование системы образования в условиях изменения макро- и мезоэкономической ситуации**

Вызовы, стоящие как перед государственными системами высшего образования, так и непосредственно университетами состоят в глобальной конкуренции за рынок образовательных услуг, талантливых студентов, преподавателей, ученых. Участвуя в этой конкуренции, российское образование обладает значительно меньшими ресурсами по сравнению с конкурентами. В этой связи рациональное использование ресурсов для конкуренции за талантливых абитуриентов требует понимания мотивации молодых людей, делающих серьезный жизненный выбор, поступая в университет и определяя направление обучения. Выбор образовательной траектории во многом определяет их текущее и дальнейшее личное благосостояние. Авторы предприняли исследование с целью определить существенность экономических факторов при выборе специальности (стоимость обучения, наличие стипендий, последующие заработки). По нашему мнению, эта задача представляет не только практический, но и научный интерес, так как позволяет исследовать роль экономических мотиваций в поведении индивидов. Таким исследованиям уделяется существенное внимание экономистов, маркетологов, психологов.

Экономическое поведение индивидов при выборе образовательной траектории может быть рассмотрено с позиций нескольких экономических теорий: классической, поведенческой, институциональной.

Согласно классической теории поведения, принимаемые решения исходят из соображения полной рациональности. Предполагается, что индивид всегда выбирает наилучшее действие с целью максимизации полезности от приобретаемых им благ или поиска работы с точки зрения

максимизации будущего дохода. При этом также подразумевается, что индивид может оценить все возможности выбора и осведомлен о последствиях каждой альтернативы [51].

С точки зрения поведенческой экономики, люди по-разному реагируют на эквивалентные (с точки зрения соотношения выгод и потерь) ситуации в зависимости от того, теряют они или выигрывают [52]. Это явление называют асимметричной реакцией на изменение благосостояния. Исследователи, следуя поведенческой экономической теории, доказали, что зачастую поступки людей идут в разрез с классической экономической теорией.

Современная институциональная экономическая теория говорит, что экономическое поведение индивида во многом определяется рамками ограничений, налагаемых институтами [53].

Исследование экономики высшего образования, и в частности экономический анализ предпочтений, является актуальной задачей для исследователей. Разработаны математические модели, позволяющие проанализировать карьерные решения [54]. Представленная в работе динамическая модель для анализа жизненных циклов, выбора образования и выбора профессий позволяет существенно расширить представления об эффективности инвестирования в человеческий капитал. Модель также позволяет, исходя из данных о жизненном цикле молодого человека, обоснованно спрогнозировать решения по выбору будущей работы и размеру заработной платы.

Вопросы экономических ожиданий студентов и абитуриентов широко рассматриваются в современных работах ученых-экономистов [55]. В частности, изучается зависимость ожидания доходов, получаемых после получения образования, от жизненного опыта студента [56]. Очевидно, что выбор молодыми людьми образовательных траекторий оказывает существенное влияние как на систему образования, так и в целом на сектор общественных финансов [57], причем это влияние имеет существенную становую специфику [58].

Экономисты прослеживают взаимосвязь между различными характеристиками студента и финансовыми последствиями получения им высшего образования [59]. При этом рассматриваются различные аспекты, в частности информированность студента при использовании льготного кредитования для финансирования обучения [60].

К интересным выводам приходят М. Beffy, D. Fougère, A. Maurel, моделируя детерминанты, определяющие выбора колледжа [61]. Обучение

модели принятия решений проводилось в три этапа, при этом внимание было сосредоточено на оценке выбора исходя из ожидаемых доходов. Результаты говорят о том, что для анализируемых данных по французскому образованию неденежные факторы являются ключевыми, определяющим выбор направления обучения.

К интересным выводам, демонстрирующим зависимость успешности образовательных траекторий и экономических ожиданий, приходят Z. Eckstein, K. I. Wolpin, анализируя факторы, определяющие отчисление студентов из университетов [62]. Студенты, имеющие ожидания ниже своих соучеников в отношении вознаграждения, которое будут получать после окончания университета, чаще не заканчивают обучение получением диплома.

Оценивая ценность бизнес-образования при международном рекрутинге обучающихся, авторы [63] противопоставляют методу, основанному на финансовой интерпретации издержек и выгод бизнес-образования для обучающегося, целостный подход, используя концепцию «внутреннего» и «внешнего» успеха в карьере. При этом делается акцент на смещение акцента в сторону приоритета социальных ценностей.

Авторы в своем исследовании используют подход с точки зрения классической экономической теории. Ситуация, сложившаяся в высшем образовании России, представляет широкую информационную базу для исследования роли экономических мотиваций при поведении индивидуумов. Кратко ее можно характеризовать следующим:

Государство стимулирует обучение техническим и естественно-научным специальностям – широкая возможность для обучения за счет средств государственного финансирования, стипендиальное обеспечение.

Представители государства и независимые эксперты говорят о «перепроизводстве» выпускников гуманитарных специальностей (экономистов, юристов, менеджеров).

При этом сохраняется предпочтение молодых людей к получению гуманитарного образования, причем большая часть их получает образование за счет собственных средств или средств родителей и не получает стипендии.

Система Единого государственного экзамена позволяет формализовать и проанализировать «окно возможностей» для абитуриента при выборе университета и специальности для получения высшего образования.

Наличие такой ситуации позволяет проанализировать, насколько экономически обоснованы предпочтения студентов.



Для анализа значимости рациональных экономических ожиданий при выборе образовательной траектории сопоставляются выбранная студентом образовательная траектория и рассчитанная по вышеизложенным данным оптимальная с точки зрения экономической рациональности образовательная траектория.

Исследования связи выбора индивидуумами образовательных траекторий и экономики образования часто используются эконометрические методы [64], но авторы использовали компьютерное моделирование.

Анализируется следующий объем данных по образовательной траектории студента:

- баллы Единого государственного экзамена, набранные абитуриентом и представленные в приемную комиссию университета  $e_i$ ,  $i \in \overline{1, m}$  идентифицирует сдаваемые экзамены, в случае если экзамен по предмету не сдавался –  $e_i = 0$ ;

- информация о баллах, с которыми абитуриент будет зачислен на обучение по специальности  $k \in \overline{1, l}$  на обучение на платной –  $ov_k$  или бюджетной основе –  $ob_k$  (для студентов бесплатное обучение),  $ob_k < ov_k$ ;

- экзамены, которые необходимо сдать для обучения по специальности  $k$ , характеризуются матрицей  $Q_{ks}$ ,  $q_{ks} = 1$ , если должен быть сдан экзамен по дисциплине –  $s \in \overline{1, m}$ ,  $q_{ks} = 0$ , если экзамен по дисциплине  $s$  по специальности  $k$  не требуется;

- $c_k$  – стоимость обучения по специальности  $k$ , учитывается полная стоимость обучения за весь период;

- $cv$  – затраты студента на обучение в случае выбора образовательной траектории, сопровождающейся обучением за счет бюджетных средств  $cv = 0$ , а в случае платного образования –  $cv = c_k$ ;

- информация об ожидаемом доходе при работе за два года после окончания университета в зависимости от специальности  $k$ , по которой студент закончит обучение  $w_k$ . Эти сведения получены путем анализа заявок, поступающих в университет от работодателей и данных рекрутинговых компаний.

Расчет оптимальной с точки зрения экономической рациональности образовательной траектории производится посредством обработки изложенного выше массива данных программным обеспечением, реализующем алгоритм поиска среди возможных для абитуриента образовательных траекторий. При этом учитываются ограничения, накладываемых

баллами Единого государственного экзамена и набором экзаменов соответствующих специальности. Осуществляется поиск траектории, по которой будет максимальной разность между затратами на обучение и ожидаемым доходом после окончания обучения. Математически эту задачу можно сформулировать так:

$$\max(w_k - cv) \quad (4.28)$$

$$\sum_{i=1}^m e_i \leq ob_k \Rightarrow cv = 0 \quad (4.29)$$

$$\sum_{i=1}^m e_i \leq ov_k \Rightarrow cv = c_k. \quad (4.30)$$

При этом элементы  $q_{ks}$  матрицы  $Q_{ks}$  для специальности  $k$  должны быть равны единице ( $q_{ks} = 1$ ), если  $e_s > 0$  и, если  $e_s = 0$  для всех специальностей  $s \in 1, m$ .

Разработанная модель апробировалась на данных об образовательных траекториях 5 513 человек (в том числе 2 113 поступило на платное обучение, 3 400 на обучение за счет государственной субсидии), поступавших в университет 2013 г.

Как уже отмечалось выше, в предложенной авторами модели множество образовательных траекторий, которые может выбрать абитуриент, ограничено Единым государственным экзаменом, которые он сдал по окончанию школы. Этот набор, по нашему мнению, отражает как личностные предпочтения молодых людей (например, интерес к гуманитарным, естественным или техническим наукам), так и в существенной мере влияние общества и государства (тренды в отношении «престижа профессий», уровень преподавания в школе тех или иных предметов). В табл. 4.13 укрупненно представлен набор образовательных траекторий, которые может выбрать абитуриент, сдавший определенный набор экзаменов Единого государственного экзамена. Для экономии объема таблицы представлен пример для трех из восемнадцати комбинаций государственных экзаменов. При этом ограничением в выборе траектории является и сумма баллов, набранных абитуриентом по рассматриваемым наборам экзаменов.

В соответствии с таблицей абитуриент, сдавший и предоставивший в университет сведения об экзаменах: математика, русский язык, физика (строка 1), может претендовать на поступление по направлениям подготовки, отмеченных точками в строке таблице, например по естественным наукам, материаловедению и металлургии. Аналогичная ситуация и по остальным наборам экзаменов. Нужно отметить, что отдельные наборы экзаменов существенно снижают для сдавших их абитуриентов возможности для выбора альтернативной выбранной образовательной траектории. В математической модели таблица 1 представлена матрицей  $Q_{ks}$  (ячейки таблицы, в которых проставлены точки, закодированы в матрице  $Q_{ks}$  элементами равными единице  $q_{ks} = 1$ ).

Таблица 4.13

**Множество вероятных образовательных траекторий для абитуриентов, имеющих определенный набор экзаменов Единого государственного экзамена**

На- прав- ления обуче- ния	Экза- мены Едино- го го- судар- ствен- ного эк- замена	1. Эконо- мика и менеджмент	2. Государственное управление и предпринимательство	3. Гуманитарные науки и искусство	4. Естественные науки	5. Математика и компьютерные науки	6. Материаловедение и металлургия	7. Механика и машиностроение	8. Радиоэлектроника и информационные технологии	9. Социальные и политические науки	10. Строительство	11. Энергетика	12. Физико-техника	13. Физическая культура, спорт	14. Фундаментальное образование	15. Химико-технология	16. Военные науки и безопасность
1. Мате- матика, русский язык, физика					•		•	•	•		•	•	•		•	•	•

2. Математика, русский язык, информатика	•				•	•		•	•					•		•		
3. Математика, русский язык, обществознание	•		•	•			•				•				•			
...																		
18. Математика, русский язык, иностранный язык				•														
Расшифровка направлений подготовки:																		
1. Экономика и менеджмент (банковское дело, бухгалтерский учет и аудит, страхование).																		
2. Государственное управление и предпринимательство (государственное и муниципальное управление, торговое дело).																		
3. Гуманитарные науки и искусство (история искусств, журналистика).																		
4. Естественные науки (физика, биология, астрономия).																		
5. Математика и компьютерные науки (математика, компьютерные науки, прикладная информатика).																		
6. Материаловедение и металлургия (материаловедение и технология новых материалов, оптические технологии и материалы).																		
7. Механика и машиностроение (технологические машины и оборудование, мехатроника и робототехника).																		
8. Радиоэлектроника и информационные технологии (радиотехника, радиоэлектронные системы и комплексы).																		
9. Социальные и политические науки (философия, политология, психология).																		
10. Строительство (строительство уникальных зданий и сооружений, городское строительство и хозяйство).																		
11. Энергетика (теплоэнергетика и теплотехника, энергетическое машиностроение).																		
12. Физико-техника (инноватика, ядерные реакторы и материалы, прикладные математика и физика).																		
13. Физическая культура, спорт (физическая культура, сервис).																		

- |  |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"><li>14. Фундаментальное образование (фундаментальная информатика и информационные технологии, лингвистика).</li><li>15. Химико-технология (биотехнология, химическая технология).</li><li>16. Военные науки и безопасность (защита информации, пожарная безопасность, техническая безопасность).</li></ol> |
|--|

К имеющейся информации о баллах Единого государственного экзамена, набранных абитуриентом и представленных в приемную комиссию университета, о баллах, с которыми абитуриент будет зачислен на обучение по специальности на обучение на платной или бюджетной основе, стоимости обучения по специальности, информация об ожидаемом доходе при работе за два года после окончания университета в зависимости от специальности абитуриентов, применен вышеизложенный алгоритм поиска оптимальной образовательной траектории с точки зрения экономической целесообразности. После чего эти оптимальные траектории сопоставлены со сведениями о выбранных абитуриентами образовательных траекториях. Результаты представлены в табл. 4.14.

Как следует из приведенных в таблице данных, выбор образовательных траекторий происходит в соответствии с экономическими мотивациями. В целом по рассматриваемой выборке 66 % абитуриентов выбрали оптимальные траектории с точки зрения экономических предпочтений. При этом по различным направлениям доля таких траекторий варьируется от 91,97 до 36,76 %. Результаты моделирования показывают, что наибольшая доля оптимальных образовательных траекторий приходится на направления, которые динамично развиваются в Уральском федеральном округе. Особенно ярко эта тенденция проявляется по направлениям «Строительство», «Радиоэлектроника» и «Информационные технологии», «Математика и компьютерные науки». Существенное влияние на выбор экономически обусловленной траектории оказывает возможность обучения за счет средств бюджета, например, это оказывает существенное влияние при обучении на химико-технологическом направлении.

Необходимо отметить, что значительное влияние на выбор образовательных траекторий оказывает возможность обучения за счет средств бюджета. Очевидно, что такой инструмент должен использоваться при инвестициях в человеческий капитал.

Таблица 4.14

**Множество вероятных образовательных траекторий для  
абитуриентов, имеющих определенный набор экзаменов  
Единого государственного экзамена**

Направления обучения	Доля студентов, выбравших оптимальную образовательную траекторию	Факторы, обеспечивающие формирование альтернативных оптимальных образовательных траекторий		
		Относительно низкая цена платного обучения, %	Возможность обучения за счет бюджета, %	Выше доходы после окончания обучения, %
1. Экономика и менеджмент	71,46	85,66	0,74	13,60
2. Государственное управление и предпринимательство	73,40		5,41	94,59
3. Гуманитарные науки и искусство	53,03		100,00	
4. Естественные науки	53,89		39,06	60,94
5. Математика и компьютерные науки	76,92		100,00	
6. Материаловедение и металлургия	36,76	5,41		94,59
7. Механика и машиностроение	52,76		9,35	90,65%
8. Радиоэлектроника и информационные технологии	78,42	23,81	4,76	71,43
9. Социальные и политические науки	58,63	20,39	25,24	54,37
10. Строительство	91,97	87,10	12,90	
11. Энергетика	75,53	24,27	7,77	67,96
12. Физико-техника	71,95			100,00
13. Физическая культура, спорт	72,00			100,00
14. Фундаментальное образование	73,33		21,88	78,13
15. Химико-технология	83,96			100,00
16. Военные науки и безопасность	71,59			100,00

Высокая стоимость обучения и небольшое количество вакансий для обучения за счет средств бюджета снижает долю оптимальных образовательных траекторий, несмотря на относительно высокие доходы после окончания обучения, например при обучении по направлению «Экономика и менеджмент». Следует также отметить, что применяемая модель не позволяет проанализировать образовательные траектории, базирующиеся на получении высшего образования за счет бюджетных средств с последующим получением дополнительного образования по востребованной рынком специальности. Такая стратегия для индивида повышает экономическую привлекательность обучения за счет средств бюджета.

Анализируя ситуацию в целом, можно отметить, что наиболее значимым фактором, обеспечивающим формирование альтернативных (отличных от реальных) оптимальных образовательных траекторий, является возможность получения высоких доходов после окончания обучения (22 %). Возможность снижения стоимости обучения или получения образования за счет бюджета может стать причиной формирования оптимальной с точки зрения экономических ожиданий траектории в 12 % от всех образовательных траекторий.

По нашему мнению, это достаточно тревожный для рынка труда специалистов с высшим образованием фактор, который может снизить эффективность государственных инвестиций в человеческий капитал. Ряд студентов может выбрать стратегию получения высшего образования за счет бюджета с последующим получением дополнительного образования для работы по востребованным специальностям. В результате бюджетные средства будут потрачены без достижения необходимого эффекта.

Одним из важнейших практических результатов исследования формирования оптимальных с точки зрения экономики образовательных траекторий, по нашему мнению, должен стать учет зарплатных ожиданий студентов и абитуриентов при формировании государственных заданий для университетов.

Безусловный интерес представляет оценка зависимости выбора оптимальных с точки зрения экономики образовательных траекторий и мотивации к учебе (табл. 4.15). Мотивацию к учебе оценим исходя из доли студентов, прекративших обучение через учебный год по соответствующему направлению обучения. С целью оценить влияние способностей и подготовки, полученных студентом во время обучения в школе, учтен также средний балл при поступлении на направление обучения. Можно отме-

тять, что выбор оптимальных с точки зрения экономики образовательных траекторий не оказывает существенного влияния на мотивацию к учебе, и количество прекративших обучение студентов на некоторых направлениях обучения оптимальных с точки зрения экономики достигает максимальных значений. Из данных табл. 4.15 можно сделать вывод, что низкая доля студентов, прекративших обучение, связана скорее с высоким средним баллом Единого государственного экзамена поступивших студентов, чем долей студентов, выбравших оптимальную образовательную траекторию. Это говорит о значении личностных качеств индивида в образовательном процессе.

Таблица 4.15

**Сопоставление доли оптимальных с точки зрения экономики образовательных траекторий и мотивации к учебе**

Направления обучения	Доля студентов, выбравших оптимальную образовательную траекторию, %	Доля студентов прекративших обучение через учебный год, %	Средний балл единого государственного экзамена
1. Экономика и менеджмент	71,46	9,23	245,59
2. Государственное управление и предпринимательство	73,40	9,57	244,71
3. Гуманитарные науки и искусство	53,03	14,65	256,81
4. Естественные науки	53,89	23,32	204,79
5. Математика и компьютерные науки	76,92	24,18	228,78
6. Материаловедение и металлургия	36,76	17,84	180,33
7. Механика и машиностроение	52,76	13,47	195,45
8. Радиоэлектроника и информационные технологии	78,42	19,18	203,55
9. Социальные и политические науки	58,63	10,84	240,98
10. Строительство	91,97	17,88	226,6
11. Энергетика	75,53	14,73	201,08
12. Физико-техника	71,95	23,10	207,55
13. Физическая культура, спорт	72,00	9,33	238,18



### §3. Имитационное моделирование системы образования

14. Фундаментальное образование	73,33	20,00	213,21
15. Химико-технология	83,96	25,13	218,2
16. Военные науки и безопасность	71,59	7,95	201,34

В этой связи авторы считают приоритетным направлением совершенствования изложенной модели ее индивидуализацию. Расширение анализируемых социальных и индивидуальных качеств субъектов моделирования. Их оценка будет осуществляться как путем прямых характеристик, например: гендер, возраст, оценки успеваемости, – так и посредством косвенной оценки качеств индивида – выводы на основе оценки событий. Планируется также расширение возможностей для анализа последствий выбора образовательных траекторий, кластерного анализа допустимых образовательных траекторий.

Апробация разработанной модели выбора индивидом образовательных траекторий, оптимальных с точки зрения экономики, позволяет сделать следующие выводы.

Исследование экономических мотиваций образовательных траекторий и мотиваций их выбора имеет научную и практическую значимость.

Экономические мотивации оказывают существенное влияние на выбор образовательных траекторий, что должно активно использоваться в образовательной политике при планировании инвестиций в человеческий капитал.

Наиболее значимым фактором, обеспечивающим формирование оптимальных образовательных траекторий, является ожидание высоких доходов после окончания обучения (22 %) и возможность снижения стоимости обучения или получения образования за счет бюджета (12 % от всех образовательных траекторий). Не прослеживается явной зависимости между выбором оптимальной с точки зрения экономики образовательной траектории и успехами в обучении.

Дальнейшее развитие исследований образовательных траекторий требует доработки, предложенной авторами экономической модели, прежде всего в направлении расширения количества параметров, позволяющих проанализировать социальные и индивидуальные качества субъектов моделирования.

**Список библиографических ссылок**

1. Регионы России : стат. сб. : в 2 т. Т. 2 // Госкомстат России. М., 2001. 827 с.
2. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2004 : стат. сб. // Росстат. М., 2004. 966 с.
3. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2008 : стат. сб. // Росстат. М., 2008. 999 с.
4. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2010 : стат. сб. // Росстат. М., 2010. 996 с.
5. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2013 : стат. сб. // Росстат. М., 2013. 990 с.
6. Образование в Российской Федерации. 2010 : стат. сб. М., 2010. 492 с.
7. Образование в Российской Федерации. 2012 : стат. сб. М., 2012. 444 с.
8. Кузьминов Я. И. Итоги реализации программы развития ВШЭ в 2014 г. URL: [https://strategy.hse.ru/data/2014/09/03/1316230691/Итоги%20Программы%20развития%20ВШЭ%202014\\_доклад%20ректора.pdf](https://strategy.hse.ru/data/2014/09/03/1316230691/Итоги%20Программы%20развития%20ВШЭ%202014_доклад%20ректора.pdf)
9. Проект повышения конкурентоспособности ведущих российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров. URL: <http://5top100.ru/>
10. Салми Д., Фрумин И. Д. Российские вузы в конкуренции университетов мирового класса // Вопр. образования. 2007. № 3. С. 5–45.
11. Федеральный университет (Россия). URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Федеральный\\_университет\\_\(Россия\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Федеральный_университет_(Россия)).
12. Федеральный закон от 10.11.2009 № 259-ФЗ «О Московском государственном университете имени М. В. Ломоносова и Санкт-Петербургском государственном университете».
13. Список победителей конкурсного отбора программ развития университетов, в отношении которых устанавливается категория «национальный исследовательский университет». URL: <http://минобрнауки.рф/документы/455>.
14. Список победителей второго конкурсного отбора программ развития университетов, в отношении которых устанавливается категория «национальный исследовательский университет». URL: <http://минобрнауки.рф/документы/933>
15. О продлении до 2020 года государственной поддержки ведущих университетов России в целях повышения их конкурентоспособности

среди ведущих мировых научно-образовательных центров. URL: <http://government.ru/media/files/qg1eWUcFIp53850iO4dSDAycHC3wYNAs.pdf>

16. URL: <http://минобрнауки.рф/организации/подведомственные>

17. URL: <http://www.mcx.ru/opendata/mcx010/>

18. URL: <http://www.rosminzdrav.ru/news/2015/12/02/2675-ministr-veronika-skvortsova-provela-soveschanie-s-rektorami-obrazovatelnyh-organizatsiy-v-sfere-ohrany-zdorovya>

19. URL: [http://mkrf.ru/upload/mkrf/mkdocs2015/Отчет\\_Департамента%20науки%20и%20образования.pdf](http://mkrf.ru/upload/mkrf/mkdocs2015/Отчет_Департамента%20науки%20и%20образования.pdf)

20. URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=1869>

21. *Salmi J.* The Challenge of Establishing World-Class Universities. URL: <http://siteresources.worldbank.org/EDUCATION/Resources/278200-1099079877269/547664-1099079956815/547670-1237305262556/WCU.pdf>

22. *Шестопалова А. В.* Сравнительный анализ статистики и методологии мировых рейтингов вузов // Контурь глобальных трансформаций: политика, экономика, право. 2016. № 1 (45). Т. 9. С. 84–100.

23. Классификация рейтингов университетов. URL: <http://allrankings.ru/index.php/rankings-list>

24. Информационно-аналитические материалы по результатам проведения мониторинга эффективности образовательных организаций высшего образования. URL: <http://indicators.miccedu.ru/monitoring/>

25. *Hazelkorn E.* The Impact of League Tables and Ranking Systems on Higher Education // Higher Education Management and Policy OECD. 2007. Vol. 19. No. 2.

26. *Rauhvargers A.* Global University Ranking and their Impact. EUA Report on Rankings, 2011.

27. Ведущие рейтинги вузов // Эксперт Урал. № 2–3 (495). URL: <http://expert.ru/ural/2012/03/veduschie-rejtingi-vuzov/>

28. *Москалёва О. В.* Рейтинги университетов и научные журналы // Научная периодика: проблемы и решения. 2014. № 4 (22). С. 9–20. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/rejtingi-universitetov-i-nauchnye-zhurnaly>

29. *Донецкая С. С.* Анализ конкурентоспособности российских университетов в мировых рейтингах // Высш. образование в России. 2014. № 1. С. 20–31.

30. Методические вопросы оценки реализации проекта 5–100 по рейтингам университетов / под ред. Ф. Э. Шереги и А. Л. Арефьева. М., 2014. 312 с.

31. *Huang M.-H.* Exploring the h-index at the institutional level: A practical application in world university rankings // *Online Information Review*. 2012. Vol. 36. Is. 4. P. 534-547. DOI: 10.1108/14684521211254059
32. *Bornmann L., Daniel H. D.* Does the h-index for ranking of scientists really work? // *Scientometrics*. Vol. 65. Is. 3. P. 391–392.
33. *Weingart P.* Impact of bibliometrics upon the science system: Inadvertent consequences? // *Scientometrics*. January 2005. Vol. 62. Is. 1. P. 117–131. DOI: 10.1007/s11192-005-0007-7
34. *Zhang L.* Re-ranking of High-Impact AI Journals Based on H-Index // *Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2011. Vol. 112. P. 191–197. DOI: 10.1007/978-3-642-24820-7\_32
35. URL: <http://ecsocman.hse.ru/hsedata/2012/03/06/1266426996/9.pdf>
36. URL: [http://ecsocman.hse.ru/data/2015/05/25/1251202746/2014\\_120\\_10\\_R.A.%20Kuz'mina,%20L.Yu.%20Pisareva.pdf](http://ecsocman.hse.ru/data/2015/05/25/1251202746/2014_120_10_R.A.%20Kuz'mina,%20L.Yu.%20Pisareva.pdf)
37. URL: <http://parksrgt.tsu.ru/upload/iblock/61a/61a71605ae86547a1823d406cf569eef.pdf>
38. URL: <http://www.school619.ru/assets/files/English/OECDReview.pdf>
39. Higher Education and Regions: Globally Competitive, Locally Engaged. URL: <http://www.oecd.org/edu/imhe/highereducationandregionsgloballycompetitiveandlocallyengaged.htm>
40. URL: <https://globalhighered.wordpress.com/2007/10/06/higher-education-and-regions-globally-competitive-locally-engaged/>
41. URL: [http://www.strf.ru/material.aspx?CatalogId=222&d\\_no=47994#.VrZY5W0lns0](http://www.strf.ru/material.aspx?CatalogId=222&d_no=47994#.VrZY5W0lns0)
42. URL: <http://www.universitiesuk.ac.uk/highereducation/Pages/UniversitiesValueEconomy.aspx#.VrZelm0lns0>
43. URL: <http://www.universitiesuk.ac.uk/highereducation/Documents/2009/EconomicImpact4Full.pdf>
44. URL: <http://www.universitiesuk.ac.uk/highereducation/Documents/2009/EconomicImpact4Full.pdf>
45. URL: <http://www.birmingham.ac.uk/Documents/university/economic-impact-of-university-of-birmingham-full-report.pdf>
46. *Беляков С. А., Клячко Т. Л.* Методология оценки вклада образования в социально- экономическое развитие Российской Федерации и ее субъектов. М., 2015. 60 с. (Научные доклады: образование.) URL: <http://www.ifap.ru/library/book554.pdf>

47. Образование в цифрах: 2014 : крат. стат. сб. М., 2014. 80 с. URL: <http://www.hse.ru/data/2015/03/03/1091047536/Образование%20в%20цифрах%20карманный%202014.pdf>
48. Гурбан И. А. Глобальные образовательные тренды: вызовы для России // Вестн. Урал. фед. ун-та. Серия «Экономика и управление». 2015. № 5. С. 812–830.
49. Указ Президента РФ от 07.07.2011 г. № 988 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации».
50. Экономическая безопасность Свердловской области / под науч. ред. Г. А. Ковалевой, А. А. Куклина. Екатеринбург, 2003. 455 с.
51. Gerard Debreu Market Equilibrium // Proceedings of the National Academy of Sciences. 1956. № 42. P. 876–878.
52. Kahneman Daniel; Tversky Amos. Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk // Econometrica. 1979. № 47 (2). P. 263.
53. Hodgson G. M. The hidden persuaders: institutions and individuals in economic theory // Cambridge Journal of Economics. 2003. № 27(2). P. 159–175.
54. Keane M. P., Wolpin K. I. The career decisions of young men // Journal of Political Economy. 1997. № 105 (3). P. 473–522.
55. Jerrim J. Do UK higher education students overestimate their starting salary? // Fiscal Studies. 2011. № 32 (4). P. 483–509.
56. Jerrim J. Do college students make better predictions of their future income than young adults in the labor force? // Education Economics. 2015. № 23 (2). P. 162–179.
57. Dearden L., Fitzsimons E., Goodman A., Kaplan G. Higher education funding reforms in England: The distributional effects and the shifting balance of costs // Economic Journal. 2008. № 118 (526). P. F100–F125.
58. Carnoy M., Froumin I., Loyalka P. K., Tilak J. B. G. The concept of public goods, the state, and higher education finance: a view from the BRICs. Higher Education. 2014. P. 1–20.
59. Bachan R. Students' expectations of debt in UK higher education // Studies in Higher Education. Vol. 39. Is. 5. 2014. P. 848–873.
60. Booij A. S., Leuven E., Oosterbeek H. The role of information in the take-up of student loans // Economics of Education Review. 2012. № 31 (1). P. 33–44.
61. Beffy M., Fougère D., Maurel A. Choosing the field of study in postsecondary education: Do expected earnings matter? // Review of Economics and Statistics. 2012. № 94 (1). P. 334–347.

62. *Eckstein Z., Wolpin K. I.* Why youths drop out of high school: The impact of preferences, opportunities, and abilities // *Econometrica*. 1999. № 67 (6). P. 1295–1339.

63. *Kuznetsov A., Kuznetsova O.* Looking for Ways to Increase Student Motivation: Internationalisation and Value Innovation Higher // *Education Quarterly*. 2011. № 65 (4). P. 353–367.

64. *Meghir C., Rivkin S.* Econometric Methods for Research in Education // *Handbook of the Economics of Education*. 2011. № 3. P. 1–87.

## Глава 5

# ВОЗДЕЙСТВИЕ ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ РИСКОВ НА ФИНАНСОВУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ПЕНСИОННЫХ СИСТЕМ И МЕХАНИЗМ УПРАВЛЕНИЯ ИМИ

### §1. Анализ параметров социально-экономической пенсионной системы в условиях турбулентности внешней и внутренней среды

Вопрос факторов, влияющих на деятельность пенсионной системы и среды, в которой она функционирует, рассмотрен в экономической литературе достаточно широко.

Среду функционирования и факторы, влияющие на деятельность пенсионной системы, рассматривает в своих исследованиях Федотов [1]. В частности, им предложена актуарная модель, позволяющая определять доходную и расходную часть бюджета Пенсионного фонда РФ. На основе предложенной модели Д. Ю. Федотов смоделировал три сценария динамики финансов Пенсионного фонда России. На наш взгляд, исследования автора фундаментально и математически обоснованы и представляют, таким образом, практический интерес при разработке стратегии реформирования Пенсионного фонда России. Однако автор не затронул проблему финансов негосударственных пенсионных фондов, что, однако, не входило в цели его исследования. Кроме того, автором при разработке модели и составления на ее основе сценариев развития финансов Пенсионного фонда России учтены, по сути, только демографические риски. Это, по нашему мнению, может характеризовать модель как недостаточно учитывающую риски и, таким образом, недостаточно устойчивую при изменении факторов внешней и внутренней среды Пенсионного фонда РФ.

А. Новиков в своей диссертации на соискание ученой степени доктора экономических наук определяет основные социально-экономические факторы, влияющие на уровень обеспечения российских пенсионеров [2]. В его работе выявлено и определено место основных пенсионных институтов в экономической и социальной структуре современного российского общества. Таким образом, автор показывает место НПФ в окружающей их внешней среде. При этом А. Новиков прослеживает эволюцию становления пенсионной системы и изменение среды. Тем самым автор косвенно доказывает важность рисков для пенсионной системы, причиной

которых является как раз изменчивость факторов внешних и внутренних функционирования хозяйствующих субъектов. Однако значение рисков для пенсионных институтов автором не выявлено. Кроме того, автор выявляет факторы влияния на пенсионные институты без разделения их по воздействию на доходы и расходы субъектов.

Анализу среды функционирования пенсионной системы посвящена диссертация на соискание ученой степени доктора экономических наук Д. Г. Александрова [3]. Автор предлагает стратегию развития пенсионной системы. При этом в качестве субъекта, имеющего определяющую роль в пенсионной системе, рассматривает государство. Автор предлагает стратегию развития пенсионной системы в условиях переходной экономики, то есть в условиях постоянно изменяющейся внешней и внутренней среды. Однако учету рисков, генерируемых изменчивостью среды, в работе уделено недостаточно внимания.

Проблемам реформирования внутренней среды пенсионной системы в условиях внешних изменений посвящена диссертация на соискание ученой степени доктора экономических наук Д. Г. Дегтярева [4]. Автор в своем исследовании проводит институциональный анализ внешней и внутренней среды пенсионной системы. Автор высказывает мнение о влиянии рисков на систему пенсионного обеспечения, однако математически не обосновывает его и стоимостное значение рисков для пенсионных институтов не определяет.

В диссертации на соискание ученой степени доктора экономических наук А. В. Рябинин рассматривает механизмы трансформации и устойчивости пенсионных систем в экономическом пространстве СНГ [5]. Уже два понятия «устойчивость» и «трансформация» неразрывно связаны с понятиями рисков. Трансформация, как любое изменение, генерирует и вызывает рост рисков как внешних, так и внутренних. В этих условиях «устойчивость» пенсионной системы должна рассматриваться совместно с рисками при определении их величины и стоимости. Однако данному аспекту в работе уделено недостаточно внимания.

Проблему рисков в исследованиях, проведенных в ходе работы над докторской диссертацией, анализирует Т. В. Муравлева [6]. Значимость рисков для пенсионной системы подчеркивает в своем исследовании П. С. Митрофанов [7]. В своей работе автор характеризует риски как один из основных ограничителей развития и роста пенсионной индустрии.



Демографические риски влияют на финансовую устойчивость пенсионных систем посредством доходов и расходов систем. Причинами такого воздействия являются влияние возраста вступления в трудовую жизнь и выхода на пенсию, продолжительность периода пенсионных накоплений, влияние на доходы пенсионной системы количества трудоспособных граждан, влияние на расходы пенсионной системы количества граждан пенсионного возраста и продолжительности жизни.

Демографические риски пенсионной системы имеют разнородный характер и в ряде случаев сопряжены не только с демографией. При анализе демографических рисков все пенсионные системы будут разделены на две части: накопительные и распределительные пенсионные системы. На первые оказывают влияние такие риски, как:

- рост ожидаемой продолжительности жизни, которая будет воздействовать на продолжительность выплат пенсий;
- рост возраста вступления в трудовую жизнь, воздействующий на величину пенсионных накоплений;
- колебания среднего возраста выхода на пенсию, которая будет влиять как на продолжительность периода пенсионных накоплений, так и на длительность пенсионных выплат.

Пенсионные системы, имеющие распределительный характер, подвержены демографическим рискам в большей мере. Так, помимо уже перечисленных, для накопительных пенсионных систем демографических рисков, для распределительных значимыми являются:

- рост количества граждан – получателей пенсий;
- снижение количества работающего населения, из взносов и налоговых выплат которых финансируется выплата пенсий.

Демографические риски, выразившееся в снижении количества плательщиков страховых взносов и увеличении количества получателей пенсии, как одни из основных рисков солидарной системы были отмечены министром труда и социального развития М. Топлиным в своем докладе по развитию пенсионной системы [8].

В распределительных пенсионных системах значение демографических рисков заключается прежде всего в воздействии на сумму взносов в пенсионную систему через влияние на количество плательщиков взносов – работающее население. Роль демографических рисков для накопительных пенсионных систем заключается в воздействии на продолжительность периода пенсионных накоплений и периода пенсионных выплат.

Графически воздействие демографических рисков на пенсионные системы представлены на рис. 5.1.

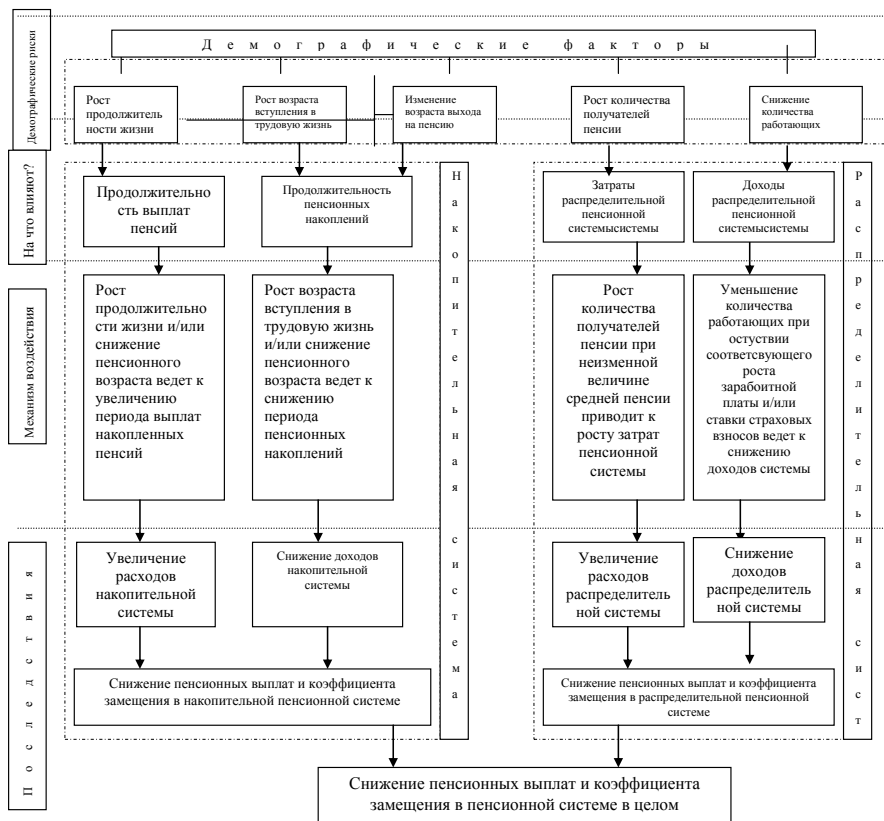


Рис. 5.1. Схема воздействия демографических рисков на пенсионную систему

На рис. 5.1 представлено воздействие демографических рисков на пенсионную систему графически, представлена логика влияния их на основные показатели пенсионной системы. Детально их воздействие будет проанализировано ниже.

Влияние демографических рисков на распределительные пенсионные системы определяется следующими факторами: 1) сумма собираемых страховых взносов зависит от количества занятых в экономике; 2) вели-

чина пенсионных выплат и коэффициент замещения взаимосвязан с количеством пенсионеров.

*Воздействие I* демографических рисков на распределительную пенсионную систему можно представить в математическом виде через влияние на основные показатели пенсионных систем – величину пенсионных выплат ( $PV$ ) и коэффициент замещения ( $PZ$ ).

$$PV = \frac{P}{n}, \quad (5.1)$$

где  $P$  – сумма поступлений в пенсионную систему;

$n$  – количество пенсионеров.

В свою очередь сумму поступлений в распределительную пенсионную систему от страховых взносов можно представить в виде:

$$P = Zpl * (1 + r)^i * s * k, \quad (5.2)$$

где  $Zpl$  – заработная плата средняя;

$r$  – средние темпы индексации заработной платы;

$i$  – период индексации заработной платы;

$s$  – ставка страховых взносов, направляемых в распределительную систему;

$k$  – количество занятых в экономике, с заработной платы которых уплачиваются страховые взносы.

Таким образом, подставляя сумму пенсионных поступлений (формула (5.2)) в формулу (5.1) получим:

$$PV = \frac{Zpl * (1 + r)^i * s * k}{n}. \quad (5.3)$$

Коэффициент замещения, который показывает, какую долю занимает получаемая пенсия ( $P$ ) от утраченного заработка ( $Zpl$ ) с учетом выражение (5.3), будет определяться по формуле:

$$PZ = \frac{Zpl * (1 + r)^i * s * k}{n} * \frac{1}{Zpl * (1 + r)^i} = \frac{s * k}{n}. \quad (5.4)$$

Динамическое воздействие демографических рисков на распределительную пенсионную систему будет заключаться в изменении с течени-

ем времени от года  $j$  до года  $i$  демографических параметров, таких как количества занятых в экономике и количества пенсионеров, и с учетом формулы (5.3) и (5.4) будет выражаться (5.5):

$$\frac{PV_i}{PV_j} = \frac{Zpl_j * (1+r)^{i-j} * s_i * k_i}{n_i} \times \frac{n_j}{Zpl_j * S_j * k_j} = (1+r)^{i-j} \frac{S_i}{S_j} * \frac{k_i}{k_j} * \frac{n_j}{n_i}. \quad (5.5)$$

Выражение (5.5) показывает, что изменение пенсионных выплат в распределительных системах от года  $j$  до года  $i$  будет определяться ставкой индексации заработных плат ( $r$ ), ставкой страховых взносов ( $s$ ) и двумя демографическими факторами – количеством занятых в экономике ( $k$ ) и количеством пенсионеров ( $n$ ). В условиях стагнации экономики и/или отсутствия роста заработных плат ( $r \rightarrow 0$ ) из выражения (5.5) получаем:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{PV_i}{PV_j} = \frac{S_i}{S_j} \times \frac{k_i}{k_j} * \frac{n_j}{n_i} \\ r \rightarrow 0 \end{array} \right. \quad (5.6)$$

Выражение (5.6) показывает, что в условиях демографических рисков, то есть при росте количества пенсионеров ( $ni > nj$ ) и снижении количества занятых в экономике ( $kj > ki$ ), единственной возможностью поддерживать уровень пенсионных выплат является пропорциональный рост ставки пенсионных взносов ( $Si > Sj$ ). В противном случае будет происходить снижение пенсионных выплат.

Отметим, что в условиях стагнации заработных плат и невозможности или нежелании повышать налоговое бремя для бизнеса, обусловленное ростом ставки страховых взносов ( $Si = Sj$ ), пенсионные выплаты и их динамика будут определяться только демографическими факторами количеством пенсионеров ( $n$ ) и количеством занятых в экономике ( $k$ ):

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{PV_i}{PV_j} = \frac{k_i}{k_j} * \frac{n_j}{n_i} \\ r \rightarrow 0 \\ S_i = S_j \end{array} \right. \quad (5.7)$$

Из систем (5.6) и (5.7) следует, что в распределительной пенсионной системе рост (снижение) пенсионных выплат для сохранения финансо-

вой устойчивости не должен обгонять рост количества занятых и снижения количества пенсионеров (при постоянной ставке страховых взносов) либо в условиях постоянного количества занятых и пенсионеров (для коротких временных промежутков это возможно) не должен обгонять индексацию заработных плат.

Соотношение количества занятых в экономике и количества пенсионеров характеризует еще один демографический показатель – коэффициент поддержки ( $Kp$ ):

$$Kp = \frac{k}{n}. \quad (5.8)$$

Таким образом, уравнение (5) приобретает вид:

$$\frac{PV_i}{PV_j} = (1+r)^{i-j} \frac{S_i}{S_j} * \frac{Kp_i}{Kp_j}. \quad (5.9)$$

Подставляя (5.9) в систему (5.7), получим:

$$\begin{aligned} \frac{PV_i}{PV_j} &= \frac{Kp_i}{Kp_j} \\ r &\rightarrow 0 \\ S_i &= S_j \end{aligned} \quad (5.10)$$

Как следует из системы (10), динамика пенсионных выплат в распределительных системах в условиях отсутствия роста заработных плат и постоянной налоговой нагрузке определяется только соотношением коэффициентов поддержки.

Влияние демографических рисков на второй не менее важный показатель пенсионных систем – коэффициент замещения – будет более значительным и ярко выраженным. Из уравнения (5.4) и (5.8) мы получаем, что динамика коэффициента имеет вид:

$$\frac{PZ_i}{PZ_j} = (1+r) \times \frac{s_i}{s_j} \times \frac{k_i}{k_j} \times \frac{n_j}{n_i} = (1+r) \times \frac{s_i}{s_j} \times \frac{Kp_i}{Kp_j}. \quad (5.11)$$

Таким образом, динамика коэффициента замещения будет определяться ставкой страховых взносов ( $s$ ), количеством занятых в экономике ( $k$ ) и

количеством пенсионеров ( $n$ ), то есть коэффициентом поддержки ( $Kp$ ). Как видим, для коэффициента замещения два из трех влияющих факторов являются демографическими в отличие от величины пенсионных выплат ( $PV$ ), у которых два из четырех факторов влияния – демографические. Результатом является то, что в условиях негативной динамики демографических показателей единственным фактором, позволяющим удерживать коэффициент замещения, станет ставка страховых взносов, то есть налоговое бремя для бизнеса:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{PZ_i}{PZ_j} == \frac{Kp_i}{Kp_j} . \\ S_i = S_j \end{array} \right. \quad (5.12)$$

Результатом такого влияния демографических рисков является то, что в условиях негативной динамики демографических показателей единственным фактором, позволяющим удерживать коэффициент замещения на достигнутом уровне, станет ставка страховых взносов, то есть налоговое бремя для бизнеса.

Риск снижения количества занятых в экономике и роста количества пенсионеров является одним из основных рисков, воздействующих на распределительные пенсионные системы. Снижение количества занятых в экономике определяет уменьшение величины страховых взносов, что на фоне роста количества пенсионеров и, соответственно, увеличения расходов пенсионной системы вызывает снижение финансовой устойчивости пенсионной системы. В то же время данный риск для накопительных пенсионных систем не является значимым, так как на индивидуальные пенсионные накопления количество плательщиков страховых взносов значения не имеет.

Как нами было показано, уже распределительные пенсионные системы находятся под влиянием демографических рисков через воздействие количества занятых в экономике и количества пенсионеров, то есть коэффициентов поддержки. Отрицательное воздействие демографических рисков может быть скомпенсировано за счет положительной макроэкономической конъюнктура, стимулирующей увеличение средней заработной

платы, либо за счет роста налогового бремени, выразившегося в повышении ставки пенсионных взносов. Таким образом, контрмерой поддержки финансовой устойчивости распределительных пенсионных систем в условиях демографических рисков являются рост пенсионных взносов в результате либо увеличения налоговой базы – заработной платы, либо повышения ставок пенсионных взносов. При этом необходимо принимать во внимание уровень безработицы.

Эмпирическая проверка соблюдения условий финансовой устойчивости распределительных пенсионных систем под воздействием демографических рисков проводилась нами для периода с 1990 до 2012 г. по данным статистических баз OECD Stat [9], UDB Stat [10], Worldbank-Stat [11], Росстата [12]. Анализируемые показатели выбирались таким образом, чтобы мы смогли проверить соблюдение условий финансовой устойчивости. Были исследованы динамики такого показателя, как коэффициент поддержки, характеризующий соотношение количества занятых и количества пенсионеров. На основе заработной платы и ставки пенсионных взносов мы смогли оценить величину пенсионных взносов в пенсионную систему, исходя из чего делались выводы о выполнении условия финансовой устойчивости распределительной пенсионной системы (см. формулы (5.6) – (5.10) и рис. 5.2). Исследование производилось на основе данных выборки 23 страны, которые в графиках и таблицах получили соответствующие коды: Австрия – Au, Бельгия – Be, Канада – Ca, Чехия – CzR, Эстония – Est, Финляндия – Fin, Франция – Fr, Германия – Ge, Греция – Gr, Венгрия – Hu, Израиль – Isr, Италия – It, Япония – Ja, Корея – Co, Люксембург – Lux, Нидерланды – Net, Польша – Po, Словакия – SlR, Словения – Sl, Испания – Isp, Швеция – Sw, Швейцария – Swit, Россия – Rus. В выборку попадали страны, соответствующие условиям:

- в стране действует распределительная пенсионная система либо часть пенсионной системы построена по распределительному принципу;
- в стране пенсионные взносы выделены из общей массы налоговых либо обязательных страховых сборов;
- по стране имеются все необходимые статистические данные.

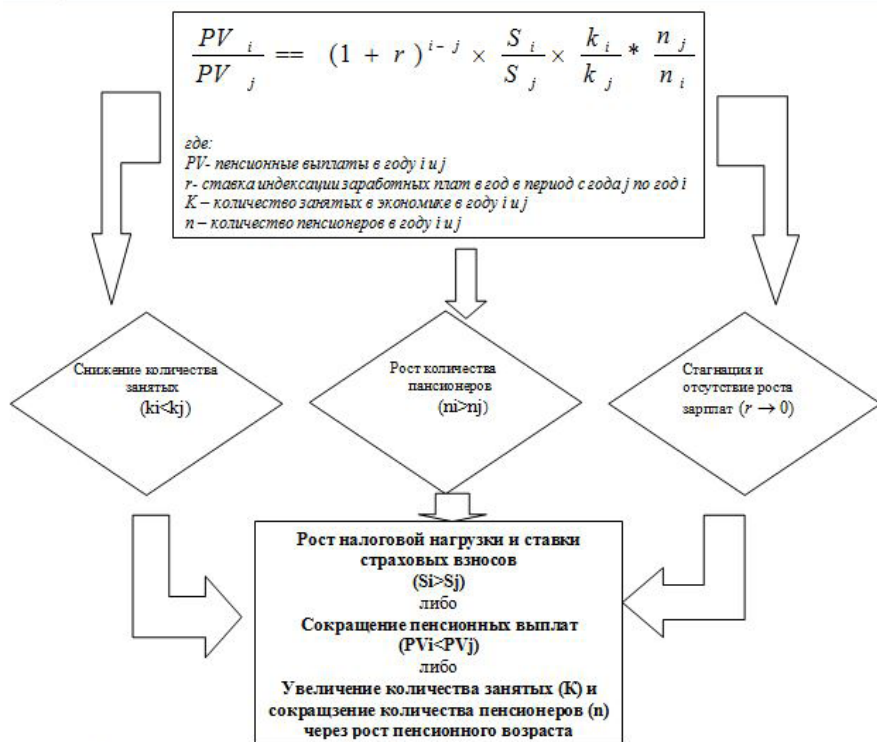


Рис. 5.2. Условие финансовой устойчивости распределительных пенсионных систем в условиях демографических рисков

Исходя из несоответствия приведенным условиям, нами были исключены ряд значимых стран:

- Австралия, Дания, Мексика, Норвегия, Португалия – пенсионные системы построены по накопительным принципам;
- Ирландия, Великобритания – пенсионные взносы не выделены из общей массы налоговых либо обязательных страховых сборов;
- Китай, Индия, США, Аргентина, Бразилия – в проанализированных базах не представлены необходимые статистические данные.

Величина пенсионных взносов (*PS*) оценивались по формуле:

$$PS = Zpl \cdot S. \quad (5.13)$$



Динамика пенсионных взносов за период с 1990 ( $PS_{1990}$ ) по 2012 ( $PS_{2012}$ ) г., рассчитанная по формуле (5.14):

$$Temn..PS = \frac{PS_{2012}}{PS_{1990}}. \quad (5.14)$$

Пенсионные взносы сопоставлялись с величиной коэффициента поддержки, характеризующего соотношение количества занятого населения к количеству пенсионеров. Коэффициент поддержки за 1990 и 2012 г. представлены на рис. 5.3.

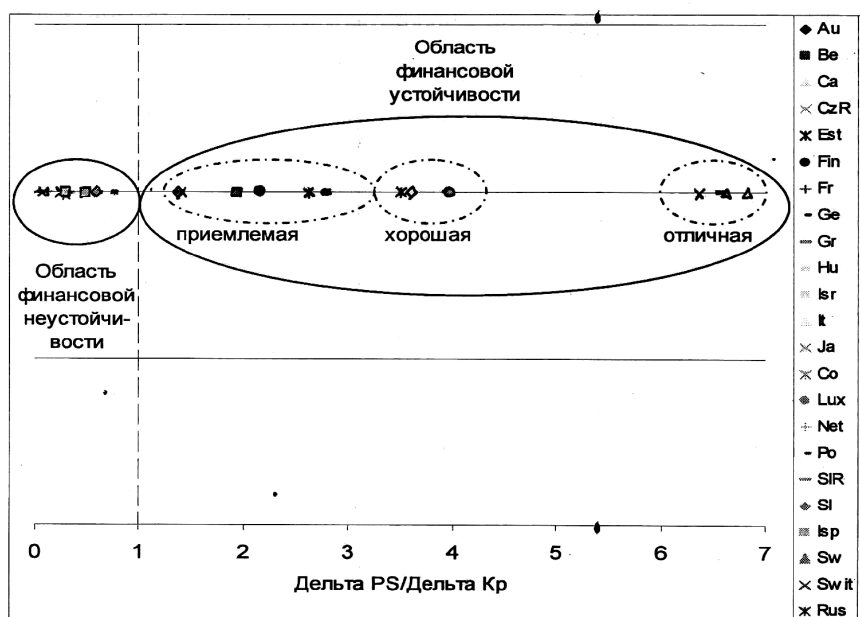


Рис. 5.3. Демографические риски распределительных пенсионных систем.

Сохранение финансовой устойчивости в 1990–2012 гг.: Дельта PS – изменение пенсионных взносов, дельта  $K_p$  – изменение коэффициента поддержки; Австрия – Au, Бельгия – Be, Канада – Ca, Чехия – CzR, Эстония – Est, Финляндия – Fin, Франция – Fr, Германия – Ge, Греция – Gr, Венгрия – Hu, Израиль – Isr, Италия – It, Япония – Ja, Корея – Co, Люксембург – Lux, Нидерланды – Net, Польша – Po, Словакия – SlR, Словения – Sl, Испания – Isp, Швеция – Sw, Швейцария – Swit, Россия – Rus

Динамика коэффициентов поддержки за период с 1990 ( $Kp_{1990}$ ) по 2012 ( $Kp_{2012}$ ) г. и определялась по формуле (5.15):

$$Темп..Kp = \frac{Kp_{2012}}{Kp_{1990}}. \quad (5.15)$$

Темпы коэффициентов поддержки сопоставлялись с темпами величины пенсионных взносов по формуле (5.16):

$$\Delta ТемпPS / Kp = \frac{|Темп.PS - 1|}{|Темп..Kp - 1|}, \quad (5.16)$$

где  $\Delta ТемпPS / Kp$  – превышение темпов пенсионных взносов над темпами коэффициентов поддержки.

На основании величины превышения темпов пенсионных взносов над темпами коэффициентов поддержки ( $\Delta ТемпPS / Kp$ ) нами делались выводы о поддержании за счет роста пенсионных взносов условия финансовой устойчивости распределительных пенсионных систем под действием демографических рисков.

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta ТемпPS / Kp = \frac{|Темп.PS - 1|}{|Темп..Kp - 1|} \\ \text{Зона финансовой неустойчивости, если } \Delta ТемпPS / Kp \geq 1. \\ \text{Зона финансов устойчивости, если } \Delta ТемпPS / Kp \leq 1 \end{array} \right. \quad (5.17)$$

Демографические риски оказывают отрицательное влияние на распределительные пенсионные системы всех рассмотренных стран: во всех рассмотренных странах коэффициенты поддержки имеют отрицательную динамику в периоде с 1990 до 2012 г. (рис. 5.3). Однако это воздействие разное. В наихудших условиях находятся Корея и Япония: коэффициент поддержки за период с 1990 до 2012 г. снизился более чем в два раза, в то время как в Словакии и Швеции – только на 4 и 5 %, соответственно. В России коэффициент поддержки за этот период снизился на 13 %. Поэтому относить демографические условия функционирования российской распределительной пенсионной системы к наихудшим было бы преувели-

чением. В сопоставимых условиях находятся, например, Чехия, Испания, Швейцария и Венгрия. Однако существенно более в сложных условиях находятся 15, то есть большинство из рассмотренных стран, среди которых, помимо уже названных Кореи и Японии, значатся Австрия, Бельгия, Канада, Эстония, Финляндия, Франция, Германия, Греция, Италия, Нидерланды, Польша и Словения. Более льготные условия мы наблюдаем лишь в четырех странах – Израиле, Люксембурге, Словакии и Швеции.

Фактором, увеличивающим демографические риски в России, является высокая смертность в трудоспособном возрасте. Так, по данным таблиц смертности и ожидаемой продолжительности жизни Росстата за 2008 г. [12], 40 % мужчин и 14,4 % женщин в возрасте 20 лет не доживут до 60 лет, что негативно скажется на коэффициенте поддержке. Этот момент в качестве негативного фактора распределительной пенсионной системы РФ был отмечен также в аналитическом докладе Министерства труда и социального развития [13].

Для поддержания финансовой устойчивости распределительных пенсионных систем, однако, важно рассматривать не только демографические, но и динамику пенсионных взносов, определяемую величиной средней заработной платы и ставкой пенсионных взносов. Поддержание финансовой устойчивости проверялось по системе (5.17). В случае, если темпы роста пенсионных взносов превышали снижение коэффициента поддержки, то есть потери поступления средств в результате снижения количества занятых компенсировалось за счет величины уплачиваемых пенсионных взносов ( $\Delta ТемнPS / Kp \geq 1$ ), распределительная пенсионная система выполняла условие поддержания финансовой устойчивости. Если  $\Delta ТемнPS / Kp \leq 1$ , то распределительная пенсионная система страны попадала в зону финансовой неустойчивости, при которой рост пенсионных взносов не покрывал потери от демографических рисков, то есть снижения количества занятых.

В зону финансовой неустойчивости за период с 1990 до 2012 г. попали распределительные пенсионные системы таких стран, как Германия, Италия, Словения, Испания, Нидерланды, Израиль, Эстония, Франция, Япония и Греция. Рост пенсионных взносов позволяет компенсировать потери от демографических рисков и снижения количества занятых в таких странах, как Канада, Швеция, Словакия, Чехия, Люксембург, Венгрия, Россия, Польша, Корея, Финляндия, Бельгия, Швейцария и Австрия. Графически этот анализ представлен на рис. 5.3 и 5.4.

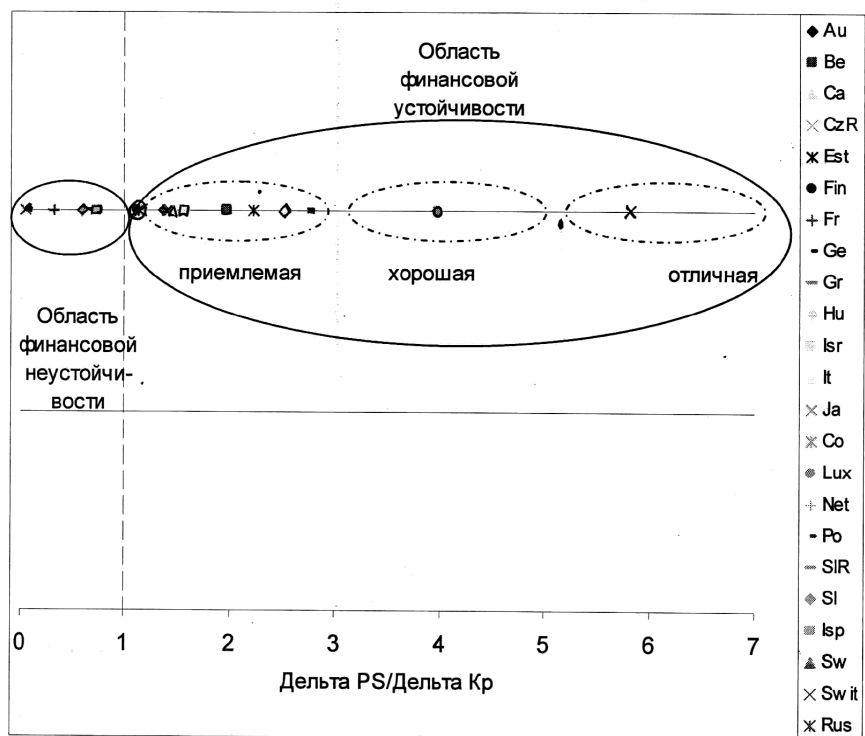


Рис. 5.4. Демографические риски распределительных пенсионных систем. Сохранение финансовой устойчивости в 1990–2012 гг. при условии сохранения величины взносов в пенсионную систему: Дельта PS – изменение пенсионных взносов, дельта  $K_p$  – изменение коэффициента поддержки. Австрия – Au, Бельгия – Be, Канада – Ca, Чехия – CzR, Эстония – Est, Финляндия – Fin, Франция – Fr, Германия – Ge, Греция – Gr, Венгрия – Hu, Израиль – Isr, Италия – It, Япония – Ja, Корея – Co, Люксембург – Lux, Нидерланды – Net, Польша – Po, Словакия – SIR, Словения – SI, Испания – Isp, Швеция – Sw, Швейцария – Swit, Россия – Rus

Как позволяют увидеть рис. 5.3 и 5.4, между странами, попавшими в зону финансовой устойчивости, наблюдается значительный разрыв: на основе показателя  $\Delta Темп PS / K_p$  страны поделены нами на три группы. К первой группе стран с высокой финансовой устойчивостью, в которой

показатель  $\Delta ТемпPS / Kp$  превышает 6, относятся Канада, Швеция, Словакия и Чехия. Во второй группе стран с хорошей финансовой устойчивостью показатель  $\Delta ТемпPS / Kp$  превышает 3, но менее 6. К этой группе относятся Люксембург, Венгрия и России. В группе с приемлемой финансовой устойчивостью  $\Delta ТемпPS / Kp$  ниже 3, но превышает 1. В этой группе находятся такие страны, как Польша, Корея, Финляндия, Бельгия, Швейцария и Австрия (см. табл. 5.1).

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta ТемпPS / Kp \in [1;3] \dots \dots \dots \text{зона. приемлемой. финансовой. устойчивости.} \\ \Delta ТемпPS / Kp \in [3;6] \dots \dots \dots \text{зона. хорошей. финансовой. устойчивости} \\ \Delta ТемпPS / Kp \geq 6 \dots \dots \dots \text{зона. отличной. финансовой. устойчивости} \end{array} \right. \quad (5.18)$$

Как уже отмечали выше, страны, сохранившие финансовую устойчивость, поддерживали ее за счет роста ставок пенсионных взносов, то есть налогового бремени и/или увеличения заработной платы.

Вклад в сохранении финансовой устойчивости распределительной пенсионной системы со стороны увеличения ставок пенсионных взносов нельзя недооценивать. Так, например, если бы ставки пенсионных взносов остались на уровне 1990 г., то ситуация с поддержанием финансовой устойчивости распределительными пенсионными системами поменялась бы кардинально (табл. 5.1 и 5.2).

Таблица 5.1

**Финансовая устойчивость распределительных пенсионных систем при нивелировании демографических рисков за счет роста заработных плат и ставок пенсионных взносов за период 1990–2012 гг.**

Распределительные пенсионные системы стран, для которых условие финансовой устойчивости не выполнено	Распределительные пенсионные системы стран, для которых условие финансовой устойчивости выполнено		
	Финансовая устойчивость приемлемая	Финансовая устойчивость хорошая	Финансовая устойчивость отличная
Германия, Италия Словения, Испания Нидерланды, Израиль Эстония, Франция Япония, Греция	Польша, Корея Финляндия Бельгия Швейцария Австрия	Люксембург Венгрия Россия	Канада Швеция Словакия Чехия

Как показано табл. 5.2, при условии сохранения налогового бремени на уровне 1990 г. в зону финансовой неустойчивости попадают Испания, Германия, Словения, Нидерланды, Греция, Япония и Италия. В отличие от фактической ситуации из этой группы ушли такие страны, как Испания, Израиль, Эстония и Франция, которые попали в зону неустойчивости за счет снижения страховых взносов. Вместе с тем отличная и хорошая финансовая устойчивость при сохранении налогового бремени на уровне 1990 г. поддерживается лишь в трех странах – Швеции, Чехии и Люксембурге. Таким образом, Канада, Словакия, Венгрия и Россия поддерживали финансовую устойчивость своих распределительных пенсионных систем на отличном и хорошем уровне за счет роста ставок пенсионных взносов, без увеличения которых они перешли в группу стран с приемлемой финансовой устойчивостью. Отметим, что впервые попытку оценить индивидуальные коэффициенты замещения для России и составить прогноз их изменения предприняли Е. Гурвич и Ю. Сони́на в рамках программы Мониторинга экономического положения и здоровья населения [14]. Кроме них, в эту группу попадают такие страны, как Польша, Эстония, Бельгия, Израиль, Швейцария, Франция и Австрия.

Для России в показатель  $\Delta ТемнPS / Kp$  при сохранении ставок пенсионных взносов на уровне 1990 г. составит 1,14, что свидетельствует о незначительной финансовой прочности распределительной пенсионной системы РФ и слабой возможности поддержания ее финансовой устойчивости за счет роста заработных плат. Проблема обостряется, если вспомнить о низком коэффициенте замещения в российском пенсионной системе (0,34 против 0,6, рекомендованного Международной организацией труда [15]). Наиболее ярким подтверждением снижения финансовой устойчивости российской пенсионной системы стало увеличение дотирования из федерального бюджета Пенсионного фонда РФ с 248 млрд руб. в 2005 г. до 1940 млрд руб. в 2013-м. Несмотря на значительный рост трат, федеральный бюджет в этот же период увеличил финансирование накопительной пенсионной системы, являющейся инструментом решения проблем распределительной пенсионной системы, с 83 млрд руб. до 582 млрд руб. [16].

Таблица 5.2

**Финансовая устойчивость распределительных пенсионных систем  
при нивелировании демографических рисков за счет роста  
зарботных плат за период 1990–2012 г. Налоговое бремя  
(ставки пенсионных фондов) неизменно**

Распределительные пенсионные системы стран, для которых условие финансовой устойчивости не выполнено	Распределительные пенсионные системы стран, для которых условие финансовой устойчивости выполнено		
	Финансовая устойчивость приемлемая	Финансовая устойчивость хорошая	Финансовая устойчивость отличная
Испания, Германия Словения, Нидерланды Греция, Япония, Италия	Польша, Венгрия, Эстония, Бельгия, Израиль, Канада, Швейцария, Франция, Австрия, Россия, Финляндия Корея	Люксембург	Швеция Чехия

Как было нами показано выше, финансовая устойчивость распределительных пенсионных систем определяется тремя факторами: рост заработной платы, увеличение ставок пенсионных взносов и коэффициентом поддержки, то есть непосредственно демографическим фактором (см. (5.11)). Выше мы показали воздействие демографических факторов на распределительные пенсионные системы в период с 1990 по 2012 г. При этом мы условно принимали остальные факторы неизменными, то есть невливающими.

Для анализа воздействия всех воздействующих факторов на финансовую устойчивость распределительных пенсионных систем мы использовали статистические данные баз: Международной организации труда (International Labour Organisation) [17], Всемирного банка [11], Организации экономического сотрудничества и развития (OECD) [9].

Страны включались в выборку по следующим признакам: 1) наличие полных статистических данных, позволяющих анализировать пенсионные выплаты и/или коэффициент замещения, ставку страховых взносов, рост заработных плат, коэффициент поддержки, то есть демографиче-

ские риски; 2) в стране пенсионная система функционирует по распределительным принципам полностью или частично. Выборка была представлена следующими странами: Австрия, Бельгия, Чехия, Финляндия, Франция, Германия, Греция, Венгрия, Италия, Люксембург, Нидерланды, Польша, Испания, Швеция.

С учетом полученных значений выражение (5.11) приобрело вид:

$$ТемпPZ = r \times темпS \times темпKp, \quad (5.19)$$

где *темп PZ* – темп прироста коэффициента замещения за анализируемый период;

*r* – темп прироста заработной платы за анализируемый период;

*темп S* – темп прироста ставки пенсионных взносов за анализируемый период;

*темп Kp* – темп прироста коэффициента поддержки за анализируемый период.

Условие сохранения финансовой устойчивости распределительной пенсионной системы с учетом (5.5) – (5.18) приобретает вид

$$ТемпPZ \leq r \times темпS \times темпKp \quad (5.20)$$

Как видно (неравенство (5.20)), распределительная пенсионная система является в финансово устойчивой в том случае, если рост финансовых поступлений в распределительную пенсионную систему за счет увеличения заработных плат, ставки страховых взносов и коэффициента поддержки обгоняет рост коэффициента замещения.

Как демонстрирует рис. 5.5, в период с 1990 по 2012 г. распределительные пенсионные системы большинства рассмотренных стран находились в состоянии финансовой устойчивости. Темпы роста взносов в распределительные пенсионные системы превышали рост коэффициента замещения в Австрии, Бельгии, Чехии, Финляндии, Греции, Венгрии, Италии, Люксембурге, Польше, Испании и Швеции. Особо выделим Люксембург и Швецию, в которых взносы в распределительные пенсионные системы выросли за период с 1990 по 2012 г. в 2,65 и 1,98 раза соответственно. Условия финансовой устойчивости (5.20) не было выполнено во Франции, Германии



и Нидерландах. В целом, однако, мы можем сделать вывод, что распределительные пенсионные системы в период с 1990 по 2012 г. в большинстве рассмотренных стран были с точки зрения финансовой устойчивости оправданы. Но это происходило на фоне снижения коэффициента замещения во всех рассмотренных странах, кроме Польши, в которой он возрос в 1,11 раза. Наибольшее снижение коэффициента замещения произошло в Люксембурге и Испании, соответственно на 56 и 37 %. Падение коэффициента замещения в рассмотренный период свидетельствует о потере социальной эффективности распределительных пенсионных систем.

Проверку сохранения финансовой устойчивости распределительных пенсионных систем в будущем мы проводили для периода с 2012 по 2050 г. по прогнозным данным Организации экономического сотрудничества и развития [9] и Международной организации труда [17]. В связи с неполными статистическими данными анализ финансовой устойчивости распределительных пенсионных систем мы смогли провести только под воздействием демографических факторов, а именно коэффициента поддержки ( $Kp$ ), исключив такие факторы влияния, как ставка пенсионных взносов и рост заработной платы, то есть приняв их неизменными на уровне 2012 г. Таким образом, распределительные пенсионные системы проверялись на соответствие условия финансовой устойчивости в соответствии с выражением (5.12). Если в выражении (5.12) правую часть уравнения разделить на левую, то условие сохранения финансовой устойчивости под воздействием демографических факторов примет вид:

$$\frac{темnKp}{темnPZ} \geq 1 . \quad (5.21)$$

С целью проанализировать динамику и придать сопоставимость результатов мы проанализировали по аналогичной методике и период с 1990 по 2012 г.

Результаты расчетов темпов увеличения коэффициента поддержки ( $Kp$ ) и коэффициента замещения ( $PZ$ ) за периоды 1990–2012 гг. и 2012–2050 гг. Результаты анализа распределительных пенсионных систем на соответствие выражению (5.21) графически представлены на рис. 5.5.

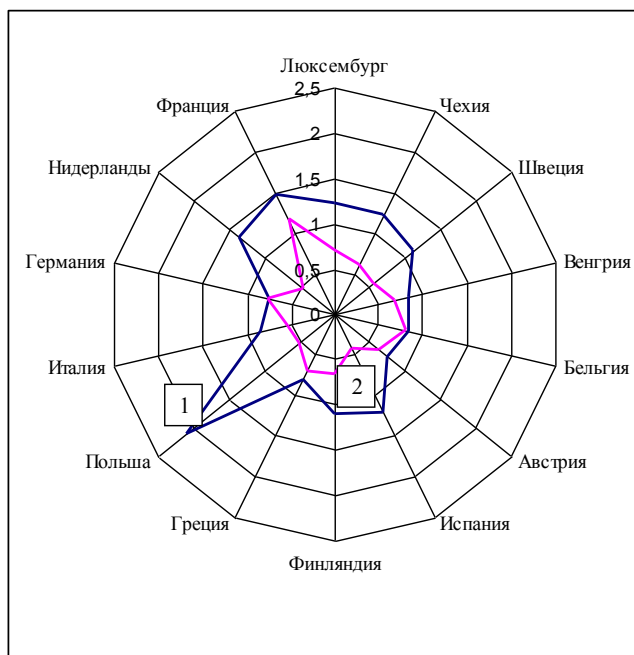


Рис. 5.5. Сохранение условия финансовой устойчивости распределительных пенсионных систем в периоды 1990–2012 гг. (линия 1) и 2012–2050 гг. (линия 2) под воздействием демографических факторов

Разница результатов периодов 1990–2012 гг. и 2012–2050 гг., как показывает рис. 5.5, разительна. В 1990–2012 гг. под воздействием демографических факторов не выполняли условие финансовой устойчивости, в соответствии с выражением (5.21), шесть стран из 14 рассмотренных: Австрия, Бельгия, Венгрия, Италия, Греция и Германия. В остальных – Чехии, Финляндии, Франции, Люксембурге, Нидерландах, Польше, Испании и Швеции – распределительные пенсионные системы сохраняли свою финансовую устойчивость. В период 2012–2050 гг. условие финансовой устойчивости (5.21) выполняется лишь у одной страны – Франции – из 14 рассмотренных. Остальные 13 – Австрия, Бельгия, Чехия, Финляндия, Германия, Греция, Венгрия, Италия, Люксембург, Нидерланды, Польша, Испания, Швеция – снижают финансовую устойчивость своих распределительных пенсионных систем. При этом отрыв от зоны финансовой устойчивости

существенно возрос: в 1990–2012 гг. в худшей ситуации была Бельгия, у которой темпы коэффициента поддержки отставали от темпов коэффициента замещения на 35 %; в 2012–2050 гг. в Польше темпы коэффициента поддержки отстают на 60 % от темпов коэффициента замещения. Это свидетельствует о том, что в период с 2012–2050 гг. распределительные пенсионные системы будут финансово неэффективны и несостоятельны подавляющем большинстве из рассмотренных стран (исключением является Франция). Социальную эффективность в 2012–2050 гг. распределительные пенсионные системы также не демонстрируют: из 14 лишь в двух – Греции и Люксембурге – прогнозируется увеличение коэффициента замещения соответственно на 16 и 4 %. В остальных 12 – Бельгии, Чехии, Финляндии, Германии, Венгрии, Италии, Нидерландах, Польше, Испании, Швеции и Франции – прогнозируется серьезное снижение коэффициента. В наихудших условиях будут Польша и Швеция: в них коэффициенты замещения снизятся на 49 и 35 % соответственно. Среднее снижение коэффициента замещения по рассмотренным странам с 2012 по 2050 г. составит 7,9 %. Анализ сохранения финансовой устойчивости в распределительных пенсионных системах в 2012–2050 гг. мы проводили, однако без учета оставшихся двух факторов влияния – ставки пенсионных взносов и роста заработной платы.

Мы рассчитали, как должна вырасти ставка пенсионных взносов при отсутствии роста заработных плат (темп роста заработной платы ( $r$ ) = 1) для сохранения коэффициента замещения на уровне 2012 г., то есть *темн PZ* принимаем равным 1. Из выражения (5.20) с учетом принятых допущений получаем:

$$\text{темн}S \times \text{темн}Kp \geq 1, \quad (5.22)$$

где *темн S* – темп роста ставки пенсионных взносов;

*темн Kp* – темп роста коэффициента поддержки.

Из (5.22) получаем выражение для определения темпов ставки страховых взносов

$$\text{темн}S \geq \frac{1}{\text{темн}Kp}. \quad (5.23)$$

Тогда ставку пенсионных взносов в 2050 г. ( $S_{2050}$ ), при которой распределительная пенсионная система будет находиться в состоянии финансовой устойчивости, можно определить:

$$S_{2050} = S_{2012} \times \text{темн}S = S_{2012} \times \frac{1}{\text{темн}Kp}. \quad (5.24)$$

Графически результаты таблицы представлены на рис. 5.6: во всех рассмотренных странах, кроме Франции, при сохранении распределительных пенсионных систем в неизменном виде поддержание коэффициентов замещения на уровне 2012 г. приведет к значительному повышению ставок пенсионных взносов. Минимальное повышение ставок коснется Бельгии – с 16,7 до 20,8 %, Германии – с 19,5 до 25,7 % и Люксембурге – с 22,8 до 31,9 %. Максимальный рост будет наблюдаться в Нидерландах – 28,3 до 64,6 %, в Испании – 20 до 47,7 % и Швеции – с 28 до 47,7 %. Среднее увеличение ставки пенсионных взносов для нивелирования воздействия демографических рисков и поддержания коэффициента замещения, то есть социальной эффективности пенсионной системы на уровне 2012 г., составит 1,63 раза, или рост ставки на 14,3 %.

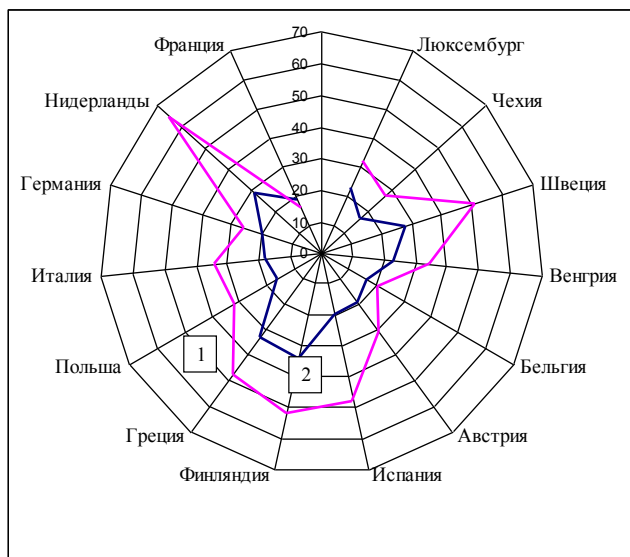


Рис. 5.6. Необходимые изменения ставок пенсионных взносов для обеспечения финансовой устойчивости распределительных пенсионных систем в 2012–2050 гг.: линия № 2 – ставка пенсионных взносов в 2012 г., линия № 1 – 2050 г.

Как показал наш анализ, сохранение финансовой устойчивости распределительных пенсионных систем, изменение коэффициента замещения и рост ставки пенсионных взносов для поддержания его на уровне 2012 г.

в рассмотренных странах распределительные пенсионные системы не демонстрируют устойчивость под влиянием демографических рисков ни с финансовой точки зрения (изменение финансовой устойчивости), ни с социальной (поддержание коэффициента замещения). Становится очевидным невозможность в условиях распределительной пенсионной системы нарастить коэффициент замещения только за счет роста заработных плат без увеличения налогового бремени на предприятия. Эта проблема является актуальной также и для России: как мы покажем ниже, демографические риски и снижение коэффициента поддержки, вызванного ростом количества пенсионеров и снижением количества работающего населения, для РФ являются значительными, и, следовательно, все выводы для распределительных пенсионных систем, к которым мы пришли, актуальны и для России. Роскошь сохранения распределительных принципов как основы пенсионной системы могут позволить себе лишь страны с высоким коэффициентом замещения и ростом коэффициента поддержки (либо незначительным его снижением), в которых демографические риски удаётся покрыть только за счет роста заработной платы.

Однако альтернативные распределительным – накопительные пенсионные системы также подвержены воздействию демографических рисков.

Влияние демографических рисков на накопительные пенсионные системы определяется следующими факторами: 1) сумма накопленного пенсионного капитала (пенсионных накоплений) определяется среди прочего периодом накоплений, то есть возрастом вступления в трудовую жизнь и возрастом выхода на пенсию; 2) величина пенсионных выплат зависит от возраста дожития, то есть возраста выхода на пенсию и возраста жизни.

Воздействие демографических рисков на накопительную пенсионную систему можно представить в математическом виде через влияние на основные показатели пенсионных систем – величину пенсионных выплат ( $PV$ ) и коэффициент замещения ( $PZ$ ).

$$PV = \frac{Pn}{d}, \quad (5.25)$$

где  $Pn$  – сумма пенсионных накоплений;

$d$  – срок дожития, период выплат пенсионных накоплений.

В свою очередь сумму пенсионных накоплений можно выразить через величину заработной платы, ставки страховых взносов и периодом накоплений:

$$Pn = \sum_{q=1}^{w-v} sn \times Zpl \times ((1+r) \times (1+a))^q = sn \times Zpl \times \sum_{i=1}^{w-v} ((1+r) \times (1+a))^q, \quad (5.26)$$

где  $Zpl$  – заработная плата средняя;

$r$  – средние темпы индексации заработной платы;

$q$  – период индексации заработной платы и инвестиционный период;

$sn$  – ставка страховых взносов, направляемых в накопительную систему;

$a$  – ставка инвестиционного дохода (в долях), получаемого от инвестирования пенсионных накоплений;

$w$  – возраст выхода на пенсию;

$v$  – возраст вступления в трудовую жизнь.

В свою очередь, срок дожития определяется возрастом выхода на пенсию (пенсионным возрастом) ( $w$ ) и возрастом продолжительности жизни (возрастом жизни) ( $z$ ):

$$d = z - w. \quad (5.27)$$

Таким образом, подставляя (5.14) и (5.15) в выражение (5.13) получаем:

$$PV = \frac{s \times Zpl \times \sum_{q=1}^{w-v} ((1+r) \times (1+a))^q}{z - w}. \quad (5.28)$$

Характеризующий какую долю утраченного заработка возмещают пенсионные выплаты, коэффициент замещения будет рассчитываться соответственно:

$$PZ = \frac{PV}{Zpl \times (1+r)^{w-v}} = \frac{s \times Zpl \times \sum_{q=1}^{w-v} ((1+r) \times (1+a))^q}{z - w} \times \frac{1}{Zpl \times (1+r)^{w-v}} = \frac{s \times \sum_{q=1}^{w-v-1} (1+r)^q \times \sum_{q=1}^{w-v} (1+a)^q}{z - w}. \quad (5.29)$$

Как демонстрируют полученные выражения, для основных показателей пенсионных систем пенсионных выплат (5.28) и коэффициента замещения (5.29), воздействие демографических рисков в накопительной пенсионной системе будет в значительной мере скомпенсировано за счет инвестиционного дохода, влияние которого усиливается через степенную функцию. Динамическое воздействие демографических рисков опре-

делим через соотношение пенсионных выплат в рамках накопительной пенсионной системы для года  $i$  и  $j$  и коэффициент основные показатели накопительной пенсионной системы.

$$\frac{PV_i}{PV_j} = \frac{s_i \times Zpl_i \times \sum_{q=1}^{w_i-v_i} ((1+r_i) \times (1+a_i))^q}{z_i - w_i} \times \frac{z_j - w_j}{s_j \times Zpl_j \times \sum_{q=1}^{w_j-v_j} ((1+r_j) \times (1+a_j))^q}. \quad (5.30)$$

Как можно увидеть, анализируя выражение (5.30), воздействие на пенсионные выплаты демографических рисков, а именно возраста вступления в трудовую жизнь, возраста выхода на пенсию и возраста жизни, во многом будет ограничиваться инвестиционным доходом, влияние которого усиливается степенной функцией. В условиях стагнации заработных плат (именно при таком условии мы анализировали воздействие демографических рисков в распределительных пенсионных систем (см. выражение (5.6)) получаем:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{PV_i}{PV_j} = \frac{s_i \times \sum_{q=1}^{w_i-v_i} (1+a_i)^q}{z_i - w_i} \times \frac{z_j - w_j}{s_j \times \sum_{q=1}^{w_j-v_j} (1+a_j)^q} \\ r \rightarrow 0 \\ Zpl_i = Zpl_j \end{array} \right. \quad (5.31)$$

Как видим (выражение (5.31)), в условиях отсутствия роста заработных плат динамика пенсионных выплат в накопительной пенсионной системе зависит от ставки страховых взносов ( $s$ ), ставки инвестиционного дохода ( $a$ ) и демографических параметров – возраста выхода на пенсию ( $w$ ), возраста вступления в трудовую жизнь ( $v$ ) и продолжительности жизни ( $z$ ).

Однако оперирование ставкой страховых взносов как фактора-влияния с целью увеличения пенсионных выплат по накопительной пенсионной системе будет означать де-факто рост налогового бремени предприятий. Поэтому при невозможности или нежелании увеличивать налоговое бремя мы получаем влияние на пенсионные выплаты только инвестиционно-го дохода и демографических факторов:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{PV_i}{PV_j} = \frac{\sum_{q=1}^{w_i-v_i} (1+a_i)^q}{z_i - w_i} \times \frac{z_j - w_j}{\sum_{q=1}^{w_j-v_j} (1+a_j)^q} \\ r \rightarrow 0 \\ Zpl_i = Zpl_j \\ S_i = S_j \end{array} \right. \quad (5.32)$$

Присутствующие в выражении (5.32) разница продолжительности жизни ( $z$ ) и пенсионного возраста ( $w$ ) является продолжительностью пенсионных выплат ( $tv$ ), а разница пенсионного возраста ( $w$ ) и возраста вступления в трудовую жизнь ( $v$ ) является периодом пенсионных накоплений ( $tn$ ). Как показывает выражение (5.32), пенсионные выплаты в условиях накопительной пенсионной системы менее подвержены демографическим рискам по сравнению с пенсионными выплатами в рамках распределительной системы, так как в условиях накопительной пенсионной системы они могут быть сnivelированы степенной функцией инвестиционного дохода. Если же поставить задачу построения финансово устойчивой накопительной пенсионной системы, не требующей нивелирования инвестиционным доходом воздействия демографических рисков, то получаем условие финансовой устойчивости накопительной пенсионной системы под воздействием демографических рисков:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{PV_i}{PV_j} = \frac{t_{ni}}{t_{nj}} \times \frac{t_{vj}}{t_{vi}} \\ a \rightarrow 0 \end{array} \right. \quad (5.33)$$

Из выражения (5.33) получаем, что условием сохранения пенсионных выплат на достигнутом уровне является опережающее увеличение периода пенсионных выплат ( $tv$ ) по сравнению с периодом пенсионного накопления ( $tn$ ), то есть ситуация, когда рост периода пенсионных накоплений обгоняет рост периода пенсионных выплат либо снижение периода пенсионных выплат опережает снижение периода пенсионного накопления:



$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{PV_i}{PV_j} = \frac{t_{ni}}{t_{nj}} \times \frac{t_{vj}}{t_{vi}} \\ PV_i \geq PV_j \\ \frac{t_{ni}}{t_{nj}} \geq 1 \\ \frac{t_{vi}}{t_{vj}} \leq 1 \end{array} \right. \quad \text{или} \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{PV_i}{PV_j} = \frac{t_{ni}}{t_{nj}} \times \frac{t_{vj}}{t_{vi}} \\ PV_i \geq PV_j \\ \Delta t_n \geq \Delta t_v \end{array} \right. . \quad (5.34)$$

Поддержание пенсионных выплат на достигнутом уровне в условиях демографических рисков при отсутствии роста заработных плат и инвестиционного дохода возможно в случае, если увеличение периода пенсионных накоплений превышает увеличение периода пенсионных распределений, или сокращение периода пенсионных накоплений происходит медленнее сокращения периода пенсионных распределений.

Однако преимущество накопительных пенсионных систем по сравнению с распределительными заключается в том, что воздействие на них демографических рисков может быть скомпенсировано за счет инвестиционного дохода, а не только за счет роста налогового бремени через увеличение страховых взносов. Отсюда вытекает второй вариант условия соблюдения финансовой устойчивости накопительной пенсионной системы. При отрицательном воздействии демографического риска, то есть в ситуации опережающего роста периода пенсионных выплат по отношению к периоду пенсионных накоплений, пенсионные выплаты сохраняются на прежнем уровне, если воздействие инвестиционного дохода через степенную функцию будет сильнее либо если произойдет рост ставок страховых взносов.

Коэффициент замещения, характеризующий соотношение пенсионных выплат к утраченному заработку гражданина и отражающий, какую долю утраченного заработка возмещают пенсионные выплаты, будет испытывать воздействие демографических рисков во многом аналогичное уже рассмотренным пенсионным выплатам. С учетом (5.29) получаем:

$$\frac{PZ_i}{PZ_j} = \frac{s_i \times \sum_{q=1}^{w_i-v_i-1} (1+r_i)^q \times (1+a_i)^q}{z_i - w_i} \times \frac{z_j - w_j}{s_j \times \sum_{q=1}^{w_j-v_j-1} (1+r_j)^q \times (1+a_j)^q} . \quad (5.35)$$

В условии отсутствия роста налогового бремени ( $S_i = S_j$ ), а также отсутствия роста заработных плат ( $r = 0$ ) из выражения (5.35) получаем:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{PZ_i}{PZ_j} = \frac{\sum_{q=1}^{w_i-v_i-1} (1+a_i)^q}{t_{v_i}} \times \frac{t_{v_j}}{\sum_{q=1}^{w_j-v_j-1} (1+a_j)^q} \\ S_i = S_j \\ r \rightarrow 0 \end{array} \right. . \quad (5.36)$$

Как видим, выражение зависимости коэффициентов замещения от демографических рисков (5.36) практически идентично выражению для пенсионных выплат (5.30), что объяснимо: коэффициент замещения является прямо пропорциональной функцией от пенсионных выплат. При построении финансово устойчивой накопительной пенсионной системы под действием демографических рисков независимости от инвестиционного дохода уравнение динамики коэффициентов замещения (5.36) примет вид:

$$\begin{array}{l} \frac{PZ_i}{PZ_j} = \frac{(w_i - v_i - 1)}{t_{v_i}} \times \frac{t_{v_j}}{(w_i - v_j - 1)} = \frac{t_{n_i} - 1}{t_{n_j} - 1} \times \frac{t_{v_j}}{t_{v_i}} \\ S_i = S_j \\ r \rightarrow 0 \\ a \rightarrow 0 \end{array} . \quad (5.37)$$

Таким образом, условием сохранения коэффициента замещения, так же как и пенсионных выплат, в накопительных пенсионных системах является изменение периода пенсионных накоплений более значительное по сравнению с периодом пенсионных выплат.

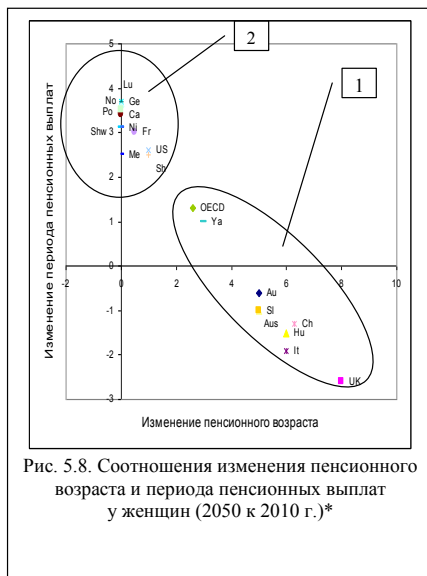
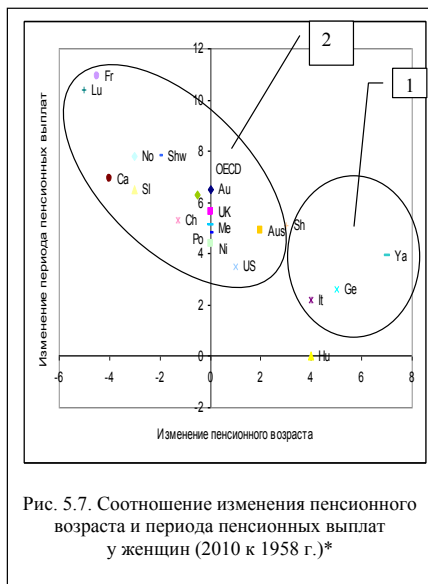
В странах OECD наблюдается общий тренд увеличения продолжительности жизни, которая, в свою очередь, вызывает рост продолжительности периода пенсионных выплат. Продолжительность периода пенсионных выплат мужчинам по странам OECD в период с 1958 до 2010 г. увеличилось с 13,4 до 18,5 лет. Прирост составил 5,1 года, или 38,5 % [18]. Таким образом, даже без увеличения пенсионных выплат и количества пенсионеров, увеличение расходов пенсионных систем со-

ставило бы 38,5 %. В Германии рост периода продолжительности пенсионных выплат составил 2,8 года (20 %), в Великобритании – пять лет (42 %), в Мексике – три года (21 %), в США – четыре года (31,3 %), в Японии – пять лет (34 %). Из стран OECD лишь в Польше и Словакии произошло снижение продолжительности периода пенсионных выплат. В Польше снижение составило 1,5 года (9,5 %), в Словакии – 1,7 года (10,3 %). Противоположная ситуация наблюдается в Канаде и Франции – странах, в которых рост составили 7,6 лет (71 %) и 9,2 года (73,6 %), соответственно. По прогнозам OECD, к 2050 г., по сравнению с 2010-м, рост продолжительности пенсионных выплат в странах OECD в среднем составит 1,8 лет (9,7 %) [18]. Максимальный рост составит в странах Словакии на 3,7 года (24,8 %), в Польше – на 2,8 года (19,4 %). Снижение продолжительности пенсионных выплат прогнозируется в двух странах – Венгрии и Италии. Снижение составит 0,2 года (1,3 %) и 0,9 лет (8,33 %) соответственно. Рост продолжительности пенсионных выплат по странам OECD наблюдается и у женщин. Однако темпы увеличения существенно выше. Продолжительность пенсионных выплат женщинам с 1958 по 2010 г. в странах OECD в среднем увеличились с 17 до 23,3 года, то есть на 37,1 %. Наибольший рост наблюдался в Люксембурге – с 14,5 до 24,9 лет (на 71,7 %) и в Норвегии – с 11,1 до 18,9 лет (70,3 %). Стран, входящих в OECD, в которых произошло снижение продолжительности пенсионных выплат, не было. Минимальные темпы роста нами выявлены в Венгрии – 0 %, и Италии – 8,7 %. Прогнозы OECD демонстрируют, что рост показателя до 2050 г. будет продолжаться.

Пенсионный возраст является одним из основных инструментов, с помощью которого правительства стран стремятся поддержать финансовую устойчивость пенсионных систем и нивелировать влияние демографических рисков на них. Именно благодаря увеличению пенсионного возраста правительства стран снижают продолжительность периода пенсионных выплат и увеличивают финансовую устойчивость пенсионных систем.

Из стран OECD при анализе периода 2010 г. по сравнению с 1958 г. максимальные темпы роста продолжительности жизни у женщин наблюдались в Канаде – на 6,9 лет, Австрии – на 6,5 лет и Люксембурге – на 0,4 года; при анализе периода 2050 г. к 2010 г. в Люксембурге и Австрии – на 3,7 года, Канаде – на 3,4 года. Рост продолжительности пенсионных выплат у женщин был максимальным в период с 1958 по 2010 г. в Австралии – на 2 года, Италии – на 4 года и Венгрии – на 4 года; в период с 2010 по

2050 г. в Великобритании – на 8 лет, Венгрии и Италия – на 6 лет. Графически соотношение изменений продолжительности пенсионных выплат и роста продолжительности пенсионных выплат у женщин по странам OECD представлено на рис. 5.7, 5.8



\*рассчитано авторами на основе статистических данных OECD [18].

\*\* Австралия – Aus, Австрия – Au, Великобритания – UK, Венгрия – Hu, Германия – Ge, Италия – It, Канада – Ca, Люксембург – Lu, Мексика – Me, Нидерланды – Ni, Норвегия – No, Польша – Po, Словакия – SI, США – US, Чехия – Ch, Франция – Fr, Швейцария – Sh, Швеция – Shw, Япония – Ya, в среднем по странам OECD.

\*\*\*Для группы стран 1 – условие сохранения финансовой устойчивости пенсионной системы под действием демографических рисков (неравенство (5.34), для группы стран 2 – не выполняется.

Как демонстрируют рисунки, далеко не все страны в период с 1958 по 2010 г. придерживались логики, в соответствии с которой рост продолжительности пенсионных выплат в целях сохранения финансового равновесия пенсионной системы компенсировался ростом пенсионного возраста. Так, например, на фоне роста продолжительности пенсионных выплат в таких странах, как Канада, Франция, Словакия, Люксембург, Норвегия, Швейцария, Чехия и Польша произошло снижение пенсионного возраста

у женщин. В Австрии, Великобритании, Нидерландах, Мексике, США, Австралии, Швеции, Германии, Италии, Японии, Венгрии рост продолжительности пенсионных выплат сопровождается ростом пенсионного возраста либо фиксацией.

Условие сохранения финансовой устойчивости пенсионной системы в соответствии с неравенством (5.34) в период с 1958 по 2010 г. выполняется лишь в Японии, Германии, Венгрии и Италии (на рис. 5.7 и 5.8 группа стран 1). Во всех остальных рассмотренных странах OECD (группа стран 2), как и в странах OECD в среднем, данное условие не выполняется, и под действием демографических рисков финансовая устойчивость пенсионных систем нарушается. В период с 2010 по 2050 г. ситуация изменяется: условия финансовой устойчивости выполняется уже в восьми странах – Японии, Венгрии, Италии, Австралии, Австрии, Великобритании, Чехии, Словакии и в среднем по странам OECD. В Канаде, Люксембурге, Мексике, Нидерландах, Норвегии, Польше, США, Франции, Швейцарии, Швеции и Германии данное неравенство нарушается.

Условие сохранения финансовой устойчивости пенсионной системы под воздействием демографических рисков у мужчин (рис. 5.9 и 5.10) выполнялось не во всех странах. В период с 1958 по 2010 г. под воздействием демографических рисков финансовая устойчивость снижалась в пенсионных системах для мужчин следующих стран: Венгрия, США, Мексика, Нидерланды, Великобритания, Австралия, Австрия, Швеция, Швейцария, Италия, Канада, Норвегия, Люксембург, Франция. В этих странах рост периода пенсионных выплат опережал увеличение пенсионного возраста. В среднем в странах OECD наблюдалась такая же ситуация. Условие сохранения финансовой устойчивости соблюдалось в Германии, Японии, Чехии, Словакии, Польше. В этих странах возраст выхода на пенсию увеличивался быстрее нежели продолжительность пенсионных выплат. В период с 2010 по 2050 г. ситуация несколько меняется. Финансовая устойчивость пенсионных систем сохраняется в США, Австралии, Чехии, Великобритании, Венгрии, Италии и в странах OECD в среднем. Планируется, что продолжительность периода пенсионных выплат будет увеличиваться быстрее, чем пенсионный возраст в Словакии, Швеции, Швейцарии, Норвегии, Люксембурге, Австрии, Германии, Канаде, Франции, Нидерландах, Польше, Мексике.

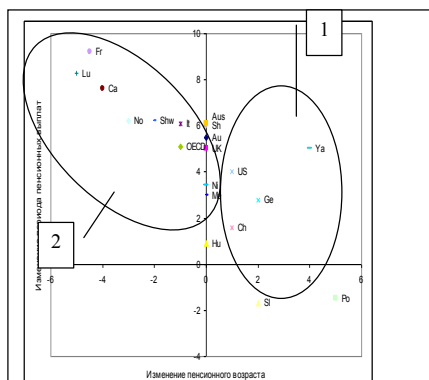


Рис. 5.9. Соотношение изменения пенсионного возраста и периода пенсионных выплат у мужчин, в годах (2010 к 1958 г.)\*

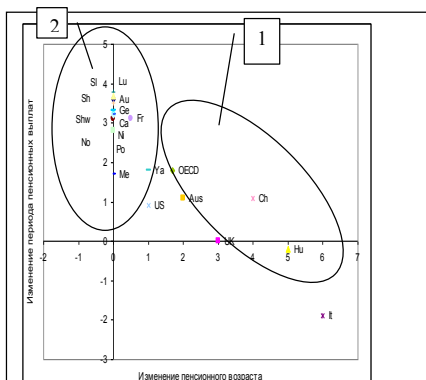


Рис. 5.9. Соотношение изменения пенсионного возраста и периода пенсионных выплат у мужчин, в годах (2050 к 2010 г.)\*

\*Австралия – Aus, Австрия – Au, Великобритания – UK, Венгрия – Hu, Германия – Ge, Италия – It, Канада – Ca, Люксембург – Lu, Мексика – Me, Нидерланды – Ni, Норвегия – No, Польша – Po, Словакия – Sl, США – US, Чехия – Ch, Франция – Fr, Швейцария – Sh, Швеция – Shw, Япония – Ya, в среднем по странам OECD.

\*\*рассчитано авторами на основе статистических данных OECD [9, 19].

\*\*\*для группы стран 1 – условие сохранения финансовой устойчивости пенсионной системы под действием демографических рисков (неравенство на рис. 1), для группы стран 2 – не выполняется.

На рис. 5.9 и 5.10 все страны нами разделены также на две группы: группа стран 1 характеризуется выполнением условия сохранения финансовой устойчивости и для группы стран 2 условия финансовой устойчивости пенсионной системы не выполняются.

Разделение стран по принципу выполнения сохранения принципа финансовой устойчивости представлено в табл. 5.3

Отметим, что вопрос о финансовой устойчивости пенсионных институтов не нов. Российские экономисты также исследовали данную тему. Так, например, В. Роик, отмечая рост демографических рисков, приходит к выводу о необходимости создания дифференцированной по рискам пенсионной системы и вносит предложения о введении принципа софинансирования платежей между государством, работником и работодателем по социальному, пенсионному и медицинскому страхованию. Этот же автор говорит о необходимости развития альтернативных вариантов пенсионного страхования в виде корпоративных схем и/или государствен-

ного участия (софинансирования). В качестве доказательства проводит сравнительный анализ по коэффициенту замещения пенсий в России, Германии и Великобритании и делает вывод, что в России альтернативные инструменты пенсионных накоплений играют несущественную роль и незначительно увеличивают коэффициент замещения пенсии с 32 (по государственному страхованию) до 38 (для пенсии, состоящей из всех частей – обязательного, корпоративного и добровольного страхования [20].

Таблица 5.3

**Выполнения условия финансовой устойчивости накопительных пенсионных систем под воздействием демографических у мужчин и женщин**

Период	Финансовая устойчивость соблюдается (неравенство (5.34) выполняется)		Финансовая устойчивость не соблюдается (неравенство (5.34) не выполняется)	
	Пенсионная система для женщин	Пенсионная система для мужчин	Пенсионная система для женщин	Пенсионная система для мужчин
Период с 2010 по 2050 г.	Япония, Венгрия, Италия, Австралия, Австрия, Великобритания, Чехия, Словакия, в среднем по странам OECD	США, Австралия, Чехия, Великобритания, Венгрия, Италия, в среднем по странам OECD	Канада, Люксембург, Мексика, Нидерланды, Норвегия, Польша, США, Франция, Швейцария, Швеция, Германия	Япония, Германия, Словакия, Польша, Австрия, Канада, Люксембург, Мексика, Нидерланды, Норвегия, Франция, Швейцария, Швеция,
Период с 1958 года по 2010 г.	Япония, Германия, Венгрия, Италия	Япония, Германия, Словакия, Чехия, Польша	Австралия, Австрия, Великобритания, Канада, Люксембург, Мексика, Нидерланды, Норвегия, Польша, Словакия, США, Чехия, Франция, Швейцария, Швеция, в среднем по странам OECD	Австралия, Австрия, Великобритания, Канада, Люксембург, Мексика, Нидерланды, Норвегия, США, Венгрия, Италия, Франция, Швейцария, Швеция, в среднем по странам OECD

О. Ю. Кузьмина исследовала устойчивость действующей пенсионной системы через субъективное восприятие респондентами пенсионных институтов. На основе анализа доверия к пенсионным институтам, довольствования уровнем пенсионного обеспечения и желанием респондентов участвовать в пенсионном страховании автор делает вывод о негативном восприятии пенсионной системы РФ. По ее оценкам, лишь 7 % населения РФ было уверено в том, что действующая пенсионная система будет в состоянии обеспечить приемлемый уровень доходов [21].

Демографические риски для накопительных пенсионных систем связаны с увеличением возраста вступления в трудовую жизнь и риском уменьшения возраста выхода на пенсию. Риск роста возраста вступления в трудовую жизнь является риском как для накопительных пенсионных систем через воздействие на продолжительность периода пенсионных накоплений, так и для распределительных систем через уровень страховых взносов. В обоих вариантах пенсионных систем риск роста возраста вступления в трудовую жизнь влияет на доходы пенсионных систем.

Положительная, с социальной точки зрения, тенденция увеличения продолжительности жизни становится для пенсионных систем фактором роста расходов и риском снижения финансовой устойчивости. Продолжительность жизни в России, несмотря на положительный тренд, остается значительно ниже в европейских странах. Этот фактор играет положительную роль при обеспечении финансово устойчивости пенсионных систем.

Ссылаясь на статистические данные по РФ по среднему возрасту жизни в России, который у мужчин даже ниже возраста выхода на пенсию, многие эксперты отрицательно оценивали возможность увеличения последнего. Однако столь популярные в экспертном сообществе пенсионные реформы Бисмарка (Германия) в XIX в. и Ллойда (Великобритания) в начале XX в. имели весьма интересную деталь: возраст выхода на пенсию в Германии был установлен в то время 70 лет при среднем возрасте жизни в 45 лет [22], в Великобритании, соответственно, 70 и 50 лет [23]. В условиях высокой рождаемости в этих странах такое соотношение возраста выхода на пенсию и средней продолжительности жизни создали условия для финансовой устойчивости пенсионных систем при адекватном уровне пенсионных взносов. Однако кардинальное изменение демографической ситуации в развитых странах на фоне сниженного после Второй мировой войны возраста выхода на пенсию привели к росту налогов на фонд



оплаты труда до 30–40 %, а в будущем потребует дальнейшего роста в пределах от 6 до 10 % [24].

В качестве еще одного аргумента в пользу роста пенсионного возраста является рост трудоспособного возраста вследствие медицинских технологий [25].

В то же время Т. Н. Малеева и О. В. Синявская, проанализировав опыт страны СНГ, Европейского союза, стран Азии и Америки, пришли к выводу, что доля людей пенсионного возраста, а также возраст дожития не влияли на пенсионный возраст. Кроме того, авторы обращают внимание на еще один фактор, негативно отразившийся на финансовой устойчивости пенсионной реформы, – рост в России среднего возраста вступления в трудовую деятельность и, как следствие, снижение продолжительности периода уплаты страховых взносов. Авторы отмечают, что период получения пенсии женщинами в России превышает данный показатель в среднем у стран ЕС. Из чего делается вывод о наличии резервов у женщин при повышении пенсионного возраста [26].

В качестве альтернативного повышению пенсионного возраста могло бы быть более активное вовлечение в трудовую деятельность ряда категорий граждан. Например, вовлеченность женщин в трудовую деятельность в странах ОЭСР варьируется от 53,8 (Греция) [27] до 94,9 (Швеция) [28]. В этой же работе автором сформулирована проблема, которую придется решать при увеличении пенсионного возраста: различная продолжительность жизни в разных слоях населения. Для решения проблемы дефицита бюджета пенсионной системы автором предлагается изменить правила индексации пенсий, стимулировать более поздний выход на пенсию и в будущем перейти от системы «пенсии для всех» на «пенсии как пособия для малообеспеченных». В. В. Потапенко и А. А. Широ в своей работе доказали, что за счет повышения уровня экономической активности пенсионеров до значений Германии количество пенсионеров может составить 13 млн человек при количестве получателей пенсий по старости 45,2 млн человек в 2020 г. [29].

Е. Гонтмахер в своей работе, также склоняясь к необходимости увеличения пенсионного возраста, анализирует проблемы, которые могут возникнуть при воплощении данного решения [30]. По мнению автора, существуют три основных проблемы, которые могут помешать получению ожидаемого эффекта от повышения возраста выхода на пенсию. К первой он относит институт инвалидности, а именно чрезмерно широ-

кий перечень оснований для получения инвалидности. При повышении пенсионного возраста значительная часть населения уйдет на пенсию по инвалидности. Вторая – низкая конкурентоспособность на рынке труда людей в возрасте 55 лет и выше. Повышение пенсионного возраста приведет к необходимости у этих слоев населения работать на очень низкие зарплаты, что даст незначительные эффект для доходной части бюджета ПФР. Третья причина – недостаток мест в детских садах – усложняет вовлечение в трудовую жизнь бабушек и дедушек, заботящихся о своих внуках, что позволяет родителям ходить на работу.

Влияние возраста выхода на пенсию на один из основных параметров пенсионных систем – коэффициента замещения – демонстрируют расчеты секретариата OECD [31]. Взаимосвязь возраста выхода на пенсию и коэффициента замещения выражается в увеличении коэффициента замещения при росте пенсионного возраста. Так, при возрастании пенсионного возраста с 55 до 70 лет коэффициент замещения, по расчетам секретариата OECD, увеличится с 58 до 74 %. Справедливо и обратное. Проблема увеличения пенсионного возраста осложняется возможностью по различным основаниям (условия работы, состояние здоровья и т. д.) в ряде стран выходить на пенсию ранее установленного срока, что снижает фактический пенсионный возраст относительно законодательно установленного. Существует, однако, и обратное явление, когда фактический пенсионный возраст превышает законодательно установленный в связи со стимулированием государством более позднего выхода на пенсию. На основе данных, представленных на рис. 5.7 и 5.8, страны OECD можно разделить на страны, в которых фактический пенсионный возраст соответствует законодательно установленному, страны, в которых он ниже, и страны, в которых он выше. Фактический пенсионный возраст превышает законодательно установленный у мужчин в таких странах, как Мексика, Швейцария, Швеция и Япония, у женщин – Великобритания, Мексика и Япония.

Лишь в Австралии и Чехии фактический и законодательный пенсионный возраст у мужчин равны. У женщин такое равенство наблюдается только в Чехии. В остальных странах выходят на пенсию раньше законодательно установленного возраста. Для мужчин это такие страны, как Великобритания, Венгрия, Германия, Италия, Канада, Люксембург, Нидерланды, Норвегия, Польша, Словакия, США и Франция, для женщин это такие страны, как Австралия, Австрия, Венгрия, Германия, Италия, Канада, Люксембург, Нидерланды, Норвегия, Польша, Словакия, США,

Франция, Швейцария, Швеция. Деление стран на группы представлено в табл. 5.3.

Политика занятости и пенсионная политика второй группы стран представляют интерес с точки зрения использования инструмента против демографических рисков. В этих странах речь идет о стимулировании продолжения трудовой деятельности и, соответственно, периода накопления пенсионного капитала наряду с сокращением периода пенсионных выплат. Сочетания этих двух мер позволило бы минимизировать демографические риски и увеличить финансовую устойчивость пенсионных распределительных систем. Превышение фактического пенсионного возраста над законодательно установленным, что наблюдается в первой группе стран, усугубляет воздействие демографических рисков на финансовую обеспеченность пенсионных систем.

Политика занятости наряду с политикой поддержания опережающего роста заработных плат и/или увеличения ставки взносов в пенсионные системы могут рассматриваться как инструменты нивелирования негативного воздействия на пенсионные системы. В тоже время демографические риски не являются единственными рисками пенсионных систем. И, соответственно, при применении инструментов должно учитываться также воздействие других основных рисков.

### **Роль инвестиционных рисков для пенсионных систем**

Инвестиционные риски представляют собой вероятность неблагоприятного колебания доходности от инвестирования активов пенсионных фондов, вызывающее снижение их стоимости. Инвестиционные риски являются значимыми только для накопительных пенсионных систем, для распределительных они не актуальны. Изменяя инвестиционные факторы в составленных моделях, мы определяем силу воздействия на накопительные пенсионные системы. Анализируется возможность компенсации негативного влияния демографических рисков за счет инвестиционных факторов. Исследуется возможность увеличения инвестиционной доходности за счет снижения институциональных барьеров.

Воздействие инвестиционных рисков на пенсионные системы не одинаково. Так, в распределительных системах, где отсутствует элемент инвестирования пенсионных средств, инвестиционные риски не возникают. В тоже время в накопительных пенсионных системах значение инвести-

ционных рисков очень высоко, если не первостепенно. Это обусловлено структурой доходов системы. Фондирование пенсионных систем происходит из двух источников: за счет взносов физических и юридических лиц, а также инвестиционных доходов. При длительных сроках накопления колебание инвестиционной доходности, то есть инвестиционные риски, оказывают на основные показатели накопительных пенсионных систем большое влияние. Инвестиционными рисками для накопительных пенсионных систем являются падение котировок на фондовых рынках и/или неблагоприятная структура инвестиционного портфеля, которые вызывают колебание инвестиционной доходности, что, в свою очередь, негативно влияет на пенсионные накопления и, соответственно, на пенсионные выплаты и коэффициент замещения. Воздействие инвестиционных рисков на пенсионную систему нами будет рассматриваться в логической последовательности, которая графически представлена на рис. 5.11.

Качество управления инвестиционными рисками в накопительных системах пенсионного страхования приобретает решающее значение. В этом наши взгляды схожи с Nguyen и Stütze, которые рассматривали накопительные пенсионные системы под воздействием и демографических и инвестиционных рисков. Инвестиционные риски оказывают воздействие на такие важные параметры пенсионных систем, как величина взносов и выплат. Такие выводы сделаны в работе T. Nguyen и R. Stütze [32]. Важность инвестиционных рисков для накопительной системы РФ доказали в своих работах Е. Т. Гурвич и А. К. Соловьев. Ими выявлено, что при практически равных отчислениях в накопительную и распределительную пенсионную систему в России, соотношения при выплате составят соответственно 1 к 9 в пользу распределительной пенсионной системы. Основной причиной является низкий инвестиционный доход, то есть воздействие инвестиционных рисков [33, 34].

Накопительные пенсионные системы имеют два источника формирования: взносы работодателей и/или физических лиц за застрахованных лиц и инвестиционный доход. Если выразить величину пенсионных накоплений через взносы работодателей и/или физических лиц за застрахованных лиц; и инвестиционный доход, то формула будет иметь экспоненциальный характер и включать в себя следующие факторы: заработную плату ( $Z$ ) ставку страховых взносов, уплачиваемых с заработной платы на формирование пенсионных накоплений ( $s$ ), возраст выхода на пенсию ( $W$ ), средний возраст вступления в трудовую жизнь ( $T$ ) и средняя инвестиционная доходность ( $\alpha$ ).

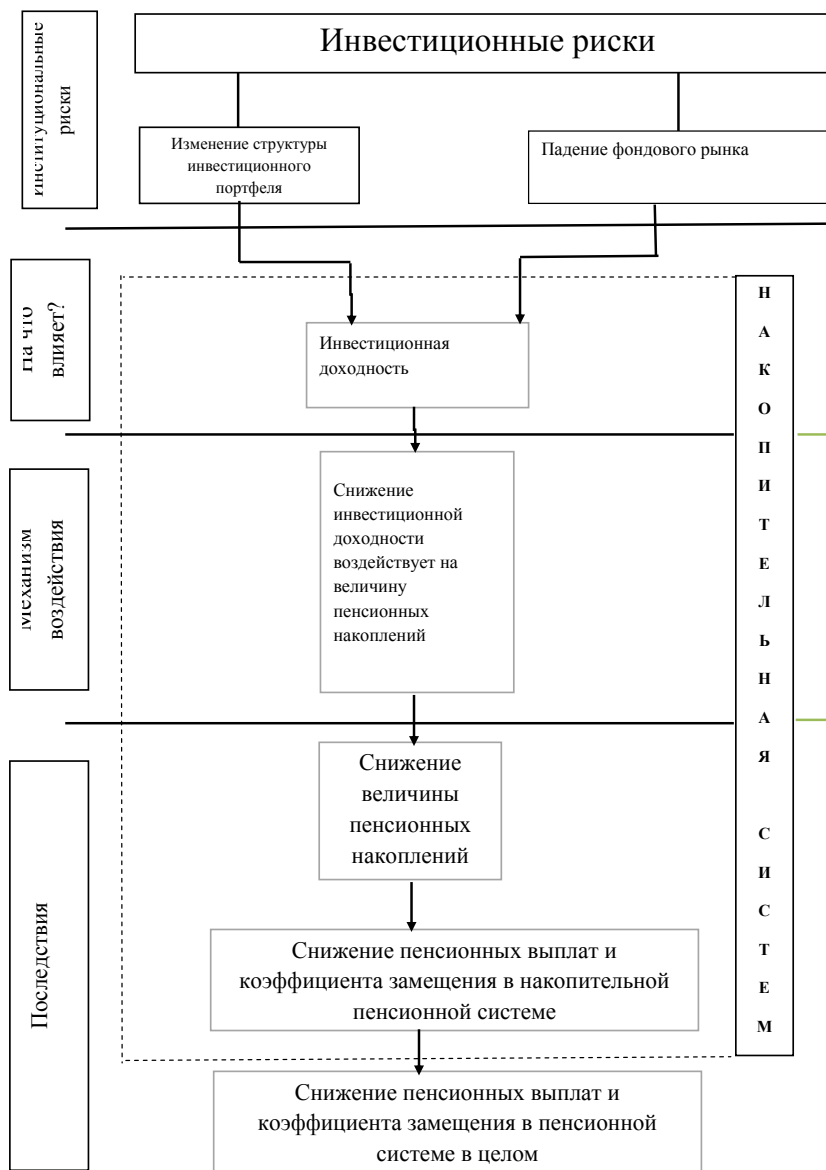


Рис. 5.11. Схема воздействия инвестиционных рисков на пенсионную систему

Формула величины пенсионных накоплений ( $PN$ ) тогда будет иметь вид:

$$PN = \sum_{i=1}^{W-T} (Z * s * (1+q)^{i-1} * (1+\alpha)^{W-T-i}) \quad (5.38)$$

где  $Z$  – величина средней заработной платы;

$S$  – ставка страховых взносов, уплачиваемых с заработной платы на накопительную часть пенсию;

$Q$  – средний рост заработной платы;

$W$  – возраст выхода на пенсию;

$T$  – средний возраст вступления в трудовую жизнь;

$\alpha$  – средняя инвестиционная доходность.

Детально механизм воздействия инвестиционных рисков на показатели пенсионных систем и его последствия раскрывается ниже.

В свою очередь величина пенсионных накоплений ( $PN$ ) определяет уровень пенсионных выплат ( $PV$ ) и выражается формулой:

$$PV = \frac{PN}{d * 12}, \quad (5.39)$$

где  $d$  – срок выплаты пенсий.

Если мы учтем формулу (5.38) и выразим величину пенсионных накоплений ( $PV$ ) через нее, то получаем:

$$PV = \frac{\sum_{i=1}^{W-T} Z * (1+q)^{i-1} * (1+\alpha)^{W-T-i}}{d * 12}. \quad (5.40)$$

Вторым важным фактором развития пенсионной системы является коэффициент замещения ( $KZ$ ), характеризующий соотношение пенсионных выплат ( $PV$ ) и заработной платы ( $Z$ ) застрахованного лица (Международная организация труда рекомендует его использовать в качестве характеристики уровня жизни пенсионеров) [17].

$$KZ = \frac{PV}{Z}, \quad (5.41)$$

Выражая уровень пенсионных выплат через формулу (5.40), расчет коэффициента замещения приобретает вид:

$$KZ = \frac{\sum_{i=1}^{W-T} Z * (1+q)^{i-1} * (1+\alpha)^{W-T-i}}{d * 12 * Z} = \frac{\sum_{i=1}^{W-T} (1+q)^{i-1} * (1+\alpha)^{W-T-i}}{d * 12}. \quad (5.42)$$

Как видим (формулы (5.40) и (5.42)), основные характеристики пенсионных систем зависят от величины инвестиционной доходности по экспоненте и имеют важное значение, что и подтверждает выводы, сделанные в работах Sharpe, Gollier и Josa-Fombellida [35–37].

Для определения воздействия инвестиционных рисков мы вначале проведем сравнительный анализ результатов инвестирования российскими компаниями и компаниями стран OECD, затем будем варьировать величину инвестиционной доходности от фактической, показанной российскими частными управляющими компаниями за период с 2007 по 2011 г., до смоделированной с привлечением теории Марковица при свободном инвестировании средств на ведущих мировых фондовых площадках.

Для проведения сравнительного анализа деятельности при инвестировании пенсионных накоплений в РФ нами были использованы данные Министерства финансов РФ, представленные на официальном сайте [38]. Нами рассчитаны средняя, максимальная и минимальная инвестиционная доходность за период с 2007 по 2011 г. За рассматриваемый период российские управляющие компании продемонстрировали не впечатляющие результаты: средняя доходность от инвестирования пенсионных накоплений составила 3,07 %. Заметим, что за этот же период инфляция, по данным ЦБ РФ, составляла 9,2 % в год [39], что свидетельствует об отрицательной реальной инвестиционной доходности и уменьшении реальной стоимости пенсионных накоплений. Эти обстоятельства побудили ряд экспертов обвинить российские управляющие компании и пенсионные фонды в некачественном инвестиционном и риск-менеджменте [7]. В качестве второго аргумента приводится отсутствие четкой системы регулирования пенсионного рынка [Там же].

Как показывает анализ динамики индексов РТС, индекса облигаций ММВБ, причины подобных инвестиционных результатов не сводятся только к некачественному риск-менеджменту. При инфляции с 2004 по 2011 г. 2,15 индекс облигаций ММВБ составил 1,64, индекс РТС – 2,35. Таким образом, инвестирование в российские облигации принесло бы снижение стоимости активов на 51 %, в российские акции прирост по отношению к инфляции за восемь лет составил бы 20 % при значительно более высокой волатильности и, соответственно, рисков. Кроме того, график демонстрирует высокую корреляцию между индексом облигаций ММВБ и доходностью от инвестирования накопительной части. Учитывая требования Федерального закона № 110 «Об инвестировании средств накопительной части пенсии», жестко ограничивающего вложения в акции и при этом предо-

ставляющие более мягкие условия при работе с облигациями, корреляция между индексом облигаций ММВБ и доходности от инвестирования пенсионных накоплений становится законодательно обоснованной.

С момента введения накопительной части пенсии в 2004 г. средняя доходность от инвестирования пенсионных накоплений к 2011 г. составила 1,531 (2004 г. = 1) при инфляции на потребительском рынке 2,15 (2004 г. = 1). Таким образом, реальное снижение стоимости пенсионных накоплений по отношению к инфляции составило 61,9 %. По данным Министерства финансов РФ, с 2004 по 2011 г. лишь четыре управляющие компании из 68 при управлении пенсионными накоплениями показали инвестиционную доходность, превышающую инфляцию.

Характерно ли отрицательная доходность только для российской накопительной пенсионной системы? Не совсем. Например, анализируя инвестиционную доходность европейских и испанских пенсионных планов, Marti приходит к выводу, что инвестиционная доходность испанских пенсионных фондов за период с 2006–2010 гг. не превысила инфляцию и, таким образом, реальная доходность нулевая. Анализ инвестиционной деятельности иностранных пенсионных фондов показывает, что отрицательная доходность не является особенностью российской практики. Анализ иностранных пенсионных фондов показывает, что для ряда стран, таких как Ирландия, Исландия, США, Австралия, в анализируемый период 2008–2009 гг. были характерны отрицательные доходности. К такому же выводу приходит Marti, исследовавший более доходность с 2000–2010 гг. в европейских пенсионных системах [40].

Влияние кризиса 2008 г. на инвестиции общественных пенсионных систем по странам OECD сильно варьировалась: на одном «полюсе» – Турция, где доходность даже в кризисном 2008 г. была положительная, на другом – Исландия и Ирландия, где доходность и в 2009 г. оставалась отрицательной. В среднем убытки от инвестиций в 2008 г. превысили доходы 2009 г., и фонды не сумели восстановить свои активы.

Российские пенсионные фонды за период в 2008–2009 гг. продемонстрировали в среднем доходность в размере 2 % [41]. Если анализировать более длительный период у пенсионных фондов стран OECD, ситуация будет сильно разниться – от 1,38 % в Австралии, до 8,15 % – в Норвегии, 7,54 % – в Мексике, 7,71 % – в Польше. Реальная (с учетом инфляции) доходность за этот период в странах OECD составила 5,11 %. Как показывает таблица, российские пенсионные фонды при управлении накопительной частью имеют худшие показатели. Инвестирование накопитель-



ной части в России за весь период существования накопительной частью демонстрирует отрицательную реальную доходность. Таким образом, в результате инвестирования пенсионные накопления россиян потеряют реальную рыночную стоимость.

Мы оцениваем инвестиционные риски по показателю стандартного отклонения инвестиционной доходности – статистический показатель, характеризующий меру ее рассеяния или колеблемости, рассчитываемого по данным месячных доходностей, предварительно переведенных в годовые значения:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (5.43)$$

где  $n$  – количество измерений инвестиционной доходности;

$x_i$  – реальная (с учетом инфляции) инвестиционная доходность за период  $i$ ;

$\bar{x}$  – средняя реальная (с учетом инфляции) инвестиционная доходность.

Графически результаты расчетов по формуле (5.43) представлены на рис. 5.12.

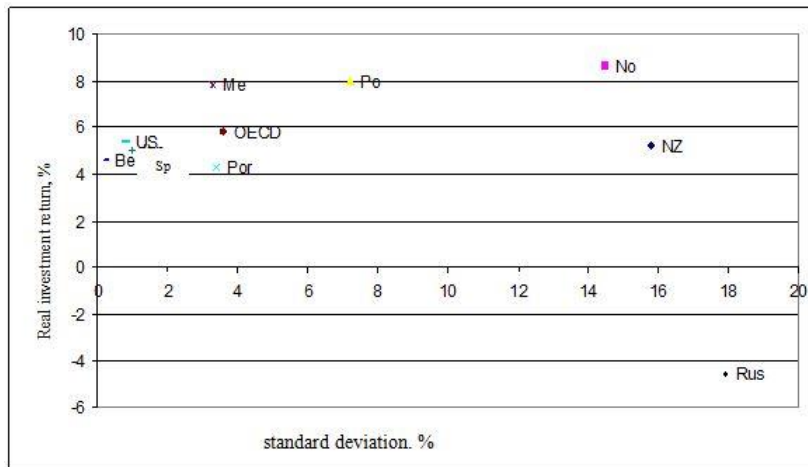


Рис. 5.12. Стандартное отклонение и реальная инвестиционная доходность при управлении портфелем пенсионных накоплений: Aus – Австралия, Be – Бельгия, Ca – Канада, Fr – Франция, Ir – Ирландия, Co – Корея, Me – Мексика, NZ – Новая Зеландия, No – Норвегия, Po – Польша, Por – Португалия, Isp – Испания, US – США, OECD – в среднем страны OECD, Rus – Россия

Как показывает анализ рис. 5.12, инвестиционная деятельность российских пенсионных фондов отличается повышенными рисками в сравнении с изученными странами OECD при среднем стандартном отклонении реальной инвестиционной доходности по изученным странам OECD в 3,14 %, в России данный показатель составляет 18,1%. Максимальный показатель стандартного отклонения демонстрируют фонды Новой Зеландии и Норвегии, соответственно, 15,6 и 14,5 %, минимальный – Бельгия (0,2 %) и США (0,7 %).

Примечательно, что логическая связка «чем выше доходность, тем выше риски» для изученной нами выборки стран выполняется не полностью. Так, страна с одной из максимальных реальных доходностей – Польша – характеризуется не самыми высокими рисками (стандартное отклонение 7,1 %), а Мексика имеет стандартное отклонение (3 %) ниже, чем в среднем по рассмотренным странам OECD (3,1 %). Страна с одним из минимальных показателей реальной доходности – Португалия – не отличается, однако, минимальными рисками. Стандартное отклонение ее реальной инвестиционной доходности, 3,16 %, практически совпадает со стандартным отклонением реальной доходности в целом по OECD – 3,14 %.

Несмотря на повышенные риски инвестирования пенсионных накоплений в РФ, Федеральный закон № 111 «Об инвестировании средств накопительной части трудовой пенсии в Российской Федерации» [42] и Постановление Правительства РФ № 379 от 30.06.2003 [43] предусматривают ограничения на инвестирование средств пенсионных накоплений в отдельные классы активов и максимальной доли отдельных классов активов в инвестиционном портфеле и предписывают инвестирование только в российские ценные бумаги. Ситуация, которую демонстрирует рис. 5.12, привела нас к гипотезе о неэффективном законодательном регулировании инвестиционной деятельности российских пенсионных фондов.

Первым подтверждением этой гипотезы стал сравнительный анализ результатов инвестиционной деятельности российских пенсионных фондов с основными российскими фондовыми индексами корпоративных акций РТС и корпоративных облигаций ММВБ. При индексе накопленной инфляции в России с 2004 по 2011 г. 2,15 индекс облигаций ММВБ составил 1,64, индекс РТС – 2,35, а индекс инвестирования пенсионных накоплений в РФ, напомним, 1,53 [38]. Учитывая требования Федерального закона № 111 [42] и Постановления Правительства РФ № 379 от 30.06.2003 [43], жестко ограничивающих вложения в акции и при этом

предоставляющих более мягкие условия при работе с облигациями, корреляция между индексом облигаций ММББ и доходности от инвестирования пенсионных накоплений становится законодательно обоснованной. В соответствии с ФЗ № 111 управляющие компании могут иметь следующую структуру инвестиционного портфеля: государственные ценные бумаги РФ (не более 40 %) и субъектов РФ (не более 40 %), депозиты (не более 80 %), акции (качественные требования к котировальному списку (не более 65 %); облигации (качественные требования к котировальному списку (не более 80 %), ипотечные ценные бумаги (не более 40 %), ценные бумаги международных финансовых организаций, обращаемых на российских рынках (закрытый перечень из 10 учреждений, не более 20 %) .

Вторым доказательством нашей гипотезы о законодательном снижении в РФ рисков инвестирования пенсионных накоплений в ущерб инвестиционной доходности стал сравнительный анализ результатов инвестирования средств накопительных пенсионных систем стран OECD и РФ и ведущих мировых индексов фондового рынка. Перечень индексов нами формировался по признаку капитализации компаний, торгуемых на фондовой площадке, по которой рассчитывается индекс. Среди индексов нами рассматривались DJIA (The Dow Jones Industrial Average) – промышленный индекс Доу Джонса (США); S&P 500 – индекс широкого рынка от Standard and Poors (США); NASDAQ Composite – индекс биржи NASDAQ (США); FTSE 100 (Financial Times Stock Exchange Index) – индекс Лондонской фондовой биржи (Великобритания); DAX (Deutscher Aktienindex) – индекс Франкфуртской фондовой биржи (Германия); CAC 40 (Cotation Assistee en Continu) – индекс биржи Euronext Paris (Франция); Nikkei 225 (Nikkei 225 Stock Average) – индекс Токийской фондовой биржи (Япония); SSE Composite – индекс Шанхайской фондовой биржи (Китай); Ibovespa – индекс биржи Сан-Паулу (Бразилия); BSE Sensex – индекс Бомбейской фондовой биржи (Индия); KOSPI (Korea Composite Stock Price Index) – индекс Корейской фондовой биржи (Южная Корея); Hang Seng – индекс Гонконгской фондовой биржи (Китай); Индекс РТС – Российский торговый системы; Индекс ММББ – Московской межбанковской валютной биржи.

В качестве источника данных по динамике мировых фондовых индексов мы использовали материалы инвестиционного портала cbonds [44]. Для анализа российских индексов РТС и ММББ использовались данные сайта Московской межбанковской валютной биржи [45, 46].

Для фондовых индексов нами рассчитывалась волатильность индекса по формуле (5.44) и суммарная (накопленная) доходность индекса за период с 2004 по 2011 г. (включительно) по формуле (5.45):

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{8-1} \sum_{i=1}^8 (x_i - \bar{x})^2} \quad (5.44)$$

$$d = \frac{I_{2011} - I_{2004}}{I_{2004}}, \quad (5.45)$$

где  $I_{2011}$  – индекс фондовой биржи на 31.12.2011;

$I_{2004}$  – индекс фондовой биржи на 01.01.2004.

Отметим, рассчитанная по формуле (5.45) доходность фондового индекса, отражает доходность инвестиций, произведенных в валюте страны, для которой рассчитан индекс. Таким образом, не учитывается валютный риск при необходимости перевода средств из валюты инвестиций в валюту инвестора, а также не учитывается инфляционный риск, обусловленный наличием инфляции в РФ.

Результаты расчетов по формулам (5.44) и (5.45) графически представлены на рис. 5.13.

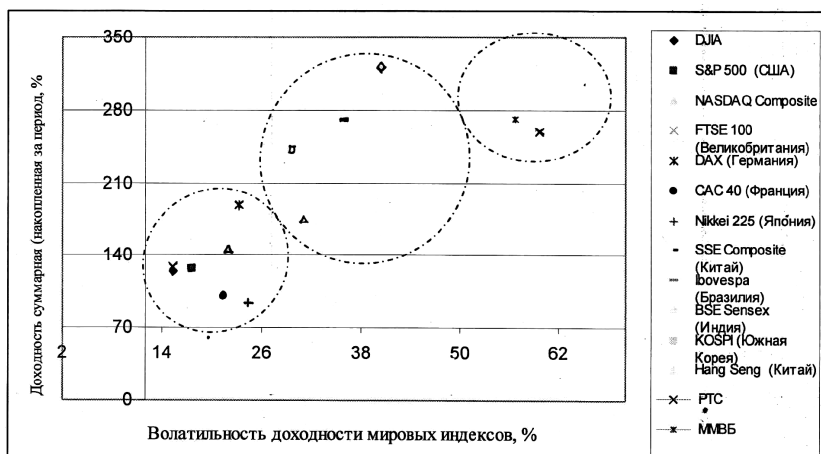


Рис. 5.13. Доходность и волатильность основных мировых индексов за период с 2004 до 2011 г. Черная линия на графике – линия тренда (составлено авторами на основе данных сайта финансовой информации cbonds [44], сайта ММВБ [45, 46])

Как демонстрирует рис. 5.13, наибольшую волатильность на фоне одних из самых высоких доходностей за период с 2004 по 2011 г. демонстрировали российские рынки РТС и ММВБ, волатильность доходностей (%) которых составила 57 и 53 соответственно. Волатильность российских рынков превышает практически в четыре раза аналогичный показатель у американских индексов Доу Джонса и Standard and Poors, волатильность которых составляет 15 и 17 соответственно. Сравнение российских индексов со странами БРИК по параметру риск также не в пользу российских рынков. Риски на биржах РТС и ММВБ превышают риски у BSE Sensex (Индия) 42, Ibovespa (Бразилия) 37. Выше этот показатель только у SSE Composite (Китай) – 69. Однако, как показывает рис. 5.13, высокие риски не обязательны для достижения высокой доходности, что наблюдается у российских индексов, объединенных нами в группу высокий риск – высокая доходность. Так, например, доходность индекса BSE Sensex (Индия) из изученных индексов была максимальной – 2,22 (в долях) при уровне риска, соответствующего группе со средним риском и средней доходностью. В эту группу вошли Hang Seng, Kосpi и Ibovespa. Минимальный риск при минимальной доходности наблюдались в группе, представленной тремя американскими индексами: Nasdaq Composite, S&P и Dow Jones Industrial Average и британским FTSE 100. Немецкий DAX демонстрирует риски на уровне минимальных при доходности на уровне средней.

Как показал наш анализ, графически представленный на рис. 5.13, для российских фондовых индексов характерны высокая доходность и высокие риски. На фоне выводов об отрицательной доходности российской накопительной составляющей пенсионной системы это предоставляет нам еще одно доказательство нашей гипотезы о законодательном снижении рисков инвестиционной деятельности российских пенсионных фондов в ущерб инвестиционной доходности. Это обстоятельство делает необходимым изменения в подходах к менеджменту и правовому регулированию инвестиционной деятельности в накопительных пенсионных системах.

Проблемы менеджмента инвестиционных рисков в пенсионной отрасли достаточно широко изучены учеными-экономистами. Так, например, Bikker и Vlaar из Национального банка Голландии, рассматривая проблему снижения инвестиционных, процентных и инфляционных рисков в пенсионной и страховой отрасли, предлагают создавать резервные фонды в пенсионных институтах для минимизации их воздействия на фи-

нансовые результаты пенсионных фондов и страховых компаний [47]. Формирование инвестиционной стратегии в условиях рисков внешней среды рассматривается в работе Yang и Huang [48], Мертон предлагает использовать для минимизации инвестиционных рисков механизмы финансовых гарантий [49].

Мы полагаем, что действенным инструментом инвестиционного менеджмента в условиях столь значительной разницы между фондовыми индексами по инвестиционной доходности и рискам может стать портфельное моделирование. Мы полагаем, что портфельное моделирование может строиться на основе данных мировых фондовых индексов в качестве инвестиционных инструментов. Фондовые индексы выступают в качестве основных показателей, характеризующих состояние соответствующего фондового рынка. Несмотря на то, что сам по себе фондовый индекс на конкретную дату особого значения не имеет, его динамика позволяет судить об изменениях, происходящих на соответствующей фондовой площадке [50]. Таким образом, на основе динамики фондовых индексов мы можем оценить доходность и волатильность (риск) ценных бумаг на соответствующих рынках. Таким образом, включая в портфель фондовые индексы США, Германии, Франции, Бразилии и т. д., мы можем судить о рисках и доходности инвестирования средств на соответствующих площадках и сравнивать их с имеющимися результатами российских управляющих компаний. Это позволит добиться диверсификации инвестиционных портфелей пенсионных накоплений по географическому признаку при нивелировании валютных рисков. Вхождение в единый портфель индексов с различным уровнем риска и доходности позволило бы достичь двух наиболее важных для пенсионных систем показателей – минимизации инвестиционного риска на фоне роста инвестиционной доходности.

Моделирование инвестиционного портфеля для накопительной составляющей пенсионной системы из ведущих мировых фондовых индексов проводилось нами с применением портфельной теории Марковица. Марковиц в своей статье предложил основы теории формирования портфеля на основе показателей волатильность и доходность инвестиционного инструмента [51]. Свое развитие теория получила затем в авторской монографии, выполненной в Йельском университете, в которой автором уже приводятся результаты практической апробации и их интерпретация [52].

При моделировании портфеля по теории Марковица первое ограничение, которое накладывается на портфель, – это положительные доли

всех ценных бумаг. Другим ограничением при применении модели Марковица является то, что сумма всех долей входящих инструментов должна составлять 1. Доходность анализируемого портфеля будет представлять собой сумму произведений доходностей входящих активов и их весовых коэффициентов. Целевая функция доходности должна будет стремиться к максимуму. Помимо доходности, вторым целевым фактором портфеля является риск, связанный с колебаниями входящих активов. Риск в соответствии с портфельной теорией Г. Марковица выражается в виде среднеквадратического отклонения  $\delta_i$  каждой акции. Значение  $\delta_p$  – это уровень приемлемого риска для инвестора. Помимо учета среднеквадратического отклонения отдельных акций, необходимо учесть корреляцию между доходностями акций –  $r_{ij}$ . Модель задачи формирования портфеля инструментов с максимальной доходностью в соответствии с теорией Марковица, при которой риск портфеля не превышает заданного значения  $\delta_p$ , и при учете всех ограничений на портфель, примет следующий вид:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^N x_i &= 1 \\ \sum_{i=1}^N x_i * d_i &\rightarrow \max \\ \sqrt{\sum_{i=1}^N x_i^2 \delta_i^2 + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N x_i * x_j * r_{ij} * \delta_i * \delta_j} &\leq \delta_p, \\ x_i &\geq 0 \end{aligned} \tag{5.46}$$

где  $x_i/x_j$  – доля инструмента  $i$  / инструмента  $j$ ;

$d_i$  – доходность инструмента;

$\delta_i$  – волатильность инструмента  $i$ ;

$\delta_j$  – волатильность инструмента  $j$ ;

$r_{ij}$  – корреляция между инструментами;

$\delta_p$  – допустимый уровень риска, приемлемый для инвестора.

Построение портфеля на основе теории Марковица – это задача формирования портфеля из набора финансовых инструментов с максимальной доходностью в условиях заданных ограничений. При моделировании портфеля с применением модели (5.46) для инвестирования средств нако-

пительной составляющей пенсионных систем в качестве первого ограничения выступает предложенное автором теории положительная доля всех входящих в портфель инструментов. Вторым ограничением выступает допустимый уровень риска  $\delta p$ , в качестве которого примем риск инвестировании средств пенсионных фондов средний по OECD, рассчитанный нами на основе данных за период с 2000 до 2011 г. по формуле (5.45) и графически представленный на рис. 5.12. Напомним: риск инвестирования средств пенсионных фондов в среднем по OECD составил 3,14 %. Таким образом, система уравнения (5.46) принимает вид:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^N x_i &= 1 \\ \sum_{i=1}^N x_i * d_i &\rightarrow \max \\ \sqrt{\sum_{i=1}^N x_i^2 \delta_i^2 + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N x_i * x_j * r_j * \delta_j * \delta_i} &\leq 0,0314 \\ x_i &\geq 0 \end{aligned} \quad (5.47)$$

Чтобы учесть возможную корреляцию между инвестиционными инструментами, из которых формируется портфель по модели (5.47), рассчитывается парная корреляция между ними по формуле:

$$r_j = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) * (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 * \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (5.48)$$

где  $x_i$  – значение индекса инструмента  $i$ ;

$y_j$  – значение индекса инструмента  $j$ ;

$\bar{x}$  – среднее значение индекса инструмента  $i$ ;

$\bar{y}$  – среднее значение индекса инструмента  $j$ ;

$N$  – количество измерений индексов.

Учитываемая при моделировании инвестиционного портфеля по теории Марковица волатильность ( $\delta_i$ ) измерялась нами по показателю среднеквадратического отклонения. Отметим, что при анализе краткосрочных



показателей портфеля наблюдается значительное воздействие «эффекта шума», выразившегося во влиянии слухов, настроений, рекомендаций – «шумов», не подтвержденных объективной информацией. Этот эффект был выявлен и доказан Black [53], а затем подробнее описан De Long, Schleifer, Summers и Waldmann в «шумовой теории» торгов на фондовых площадках [54]. Для минимизации погрешности, обусловленной «эффектом шума», при анализе нами волатильности и доходности в качестве исходных данных рассматривались ежемесячные данные.

В рамках исследования нами были рассмотрены три периода:

– 1 вариант – расширенный, включающий в себя периоды до финансового кризиса 2008 г., кризисный и посткризисный периоды – на основе изучения данных с 25.12.2003 по 25.04.2011;

– 2 вариант – посткризисный – на основе изучения данных с 01.01.2011 по 25.04.2013;

– 3 вариант – современный – на основе изучения данных с 01.01.2012 по 25.04.2013.

В первом анализируемом периоде количество исследуемых значений превышает 70 наблюдений, и выборка является статистически обоснованной. Во втором периоде количество наблюдений 27, в третьем – 15. Поэтому для достижения статистической обоснованности нами в качестве дополнительного сравнения анализировались ежедневные данные, благодаря которым мы получаем в каждом из рассматриваемых периодов более 400 наблюдений. Сопоставляя результаты, полученные на основе ежедневных и ежемесячных данных, мы получаем выводы, которые статистически обоснованы и «очищены» от погрешности за счет эффекта «шума».

При нахождении оптимального портфеля для инвестирования средств накопительной части пенсии в соответствии с портфельной теорией Марковица мы использовали программу Investment Portfolio Version 5.0, разработанную профессорами Университета Чикаго (США) Э. Елтоном и М. Грубером. Требуемую в качестве исходных данных для модели дневную доходность анализируемых индексов ( $m_j$ ) мы определяли двумя способами. В соответствии с первым нами рассчитывалась доходность без учета валютных и инфляционных рисков по формуле (5.49):

$$m_j = \frac{P_j - P_{j-q}}{P_{j-1}}, \quad (5.49)$$

где  $P_j$  – величина индекса на конец текущего дня;

$P_{j-1}$  – величина индекса за предыдущий день.

В соответствии со вторым способом мы учитывали влияние валютных и инфляционных рисков на доходность. Валютные риски обуславливались необходимостью конвертации пенсионных накоплений в валюту инвестиций и обратно. Инфляционные риски снижают реальную доходность за счет имеющейся в России инфляции. Таким образом, инвестиционная доходность с учетом валютных и инфляционных рисков ( $M_j$ ) определяется по формуле:

$$M_j = \frac{P_j * K_j - P_{j-1} * K_{j-1}}{P_{j-1} * K_{j-1}} * (1 - \mu_j), \quad (5.50)$$

где  $K_j$  – курс обмена инвестируемой валюты по отношению к рублю на конец текущего дня;

$K_{j-1}$  – курс обмена инвестируемой валюты по отношению к рублю на конец предыдущего дня;

$\mu_j$  – инфляция за день  $j$  в РФ, долей;

$P_j$  – величина индекса на конец текущего дня;

$P_{j-1}$  – величина индекса за предыдущий день.

Курсы обмена валют для применения формулы (5.50) нами определялись по данным ЦБ РФ [39]. Данные по величине дневной инфляции ( $\mu_j$ ) нами рассчитывались на основании годовых значений инфляции ( $\mu_{год}$ ) по данным Всемирного банка [11] по формуле:

$$\mu_j = \sqrt[365]{\mu_{год}} - 1. \quad (5.51)$$

1. Результаты расчетов по формулам (5.50) и (5.51) закладывались в качестве исходных данных в программу Investment Portfolio для моделирования инвестиционного портфеля. Моделирование инвестиционного портфеля проводилось нами по теории Марковица на основе данных сайта финансовой информации cbonds [44] по ведущим мировым фондовым индексам. При выборе индексов мы исходили из возможного воздействия средств пенсионных фондов динамику индексов на бирже. Этот феномен рассматривал и доказал Меньшиков, изучая влияния инвестиций пенсионных фондов на волатильность рынка акций [55]. Данный эффект существенно снижается, если фонды инвестируют на крупных,

капитализированных биржах. Поэтому нами выбраны крупнейшие биржи OECD. К таким мы отнесли DJIA (The Dow Jones Industrial Average) – промышленный индекс Доу Джонса (США), S&P 500 – индекс широкого рынка от Standard and Poors (США), NASDAQ Composite – индекс биржи NASDAQ (США), FTSE 100 (Financial Times Stock Exchange Index) – индекс Лондонской фондовой биржи (Великобритания), DAX (Deutscher Aktienindex) – индекс Франкфуртской фондовой биржи (Германия), CAC 40 (Cotation Assistee en Continu) – индекс биржи Euronext Paris (Франция), Nikkei 225 (Nikkei 225 Stock Average) – индекс Токийской фондовой биржи (Япония), SSE Composite – индекс Шанхайской фондовой биржи (Китай), Ibovespa – индекс биржи Сан-Паулу (Бразилия), BSE Sensex – индекс Бомбейской фондовой биржи (Индия), KOSPI (Korea Composite Stock Price Index) – индекс Корейской фондовой биржи (Южная Корея), Hang Seng – индекс Гонконгской фондовой биржи (Китай). Источников по индексу ММВБ – Московской межбанковской валютной биржи выступал официальный сайт Московской межбанковской валютной биржи [42].

Из представленных индексов три относятся к США – DJIA (промышленный индекс Доу Джонса, S&P 500 Standard and Poors, NASDAQ Composite), два – к Китаю (Hang Seng, SSE Composite). В нашей портфельной оптимизации мы будем учитывать все эти индексы в связи с тем, что они учитывают разные активы и потому не дублируют друг друга. В то же время индексы ММВБ и РТС имеют одинаковую структуру, отличаются же тем, что РТС номинирован в долларах, а ММВБ в рублях. Поэтому при решении оптимизационной задачи мы анализируем только индекс ММВБ.

Учет валютных и инфляционных рисков практически не сказался на величине доходности индекса. На наш взгляд, это обусловлено девальвацией рубля в исследуемые периоды, которая способствовала получению дополнительной доходности при конвертации инвестиций в валюту в рубли, что компенсировало, в свою очередь, инфляционные риски, связанные с инфляцией в России. Таким образом, в условиях девальвации рубля валютные и инфляционные риски стремятся взаимокompенсировать друг друга. Наши предположения: доходность индексов с учетом валютных и инвестиционных рисков, определенная по формуле (5.50), и доходность без учета рисков, определенная по формуле (5.49), практически не отличаются. Однако в случае ревальвации рубля мы столкнулись бы с обратным явлением: валютные риски усиливали бы отрицательное воздействие инфляционных.

Лидерами по доходности, очищенной от валютных и инфляционных рисков и определенной по формуле (5.50), в период с 25.12.2003 по 25.04.2011

являются BSE Sensex (Индия), ММВБ – индекс Московской межбанковской валютной биржи и Ibovespa – индекс биржи в Сан-Паулу (Бразилия). Отметим, что валютные и инфляционные риски не изменяют позицию первых индексов при их ранжировании по показателю «Доходность». В период с 01.01.2011 по 25.04.2013 ситуация складывалась не в пользу российских индексов: ММВБ нет среди лидеров по доходности, и она занимает 12-е место из 13 рассмотренных индексов по показателю «Доходность» без учета рисков 11-е место, соответственно, по показателю доходность с учетом инфляционных и валютных рисков. Лидерами же в этот период являются NASDAQ Composite – индекс биржи NASDAQ (США), S&P 500 – индекс широкого рынка от Standard and Poors (США) и DJIA (The Dow Jones Industrial Average) – промышленный индекс Доу Джонса (США), на позиции которых валютные и инфляционные риски не влияют. Это логично: после кризиса инвесторы тяготеют к менее рисковым и более капитализированным рынкам. В период с 01.01.2012 по 25.04.2013 российский индекс по доходности без учета рисков и по показателю доходность с учетом валютных и инфляционных рисков также в аутсайдерах: ММВБ – 10-е место в обоих рэнкингах. Лидерами в данный период являются DAX (Deutscher Aktienindex) – индекс Франкфуртской фондовой биржи (Германия), BSE Sensex – индекс Бомбейской фондовой биржи (Индия) и Hang Seng – индекс Гонконгской фондовой биржи (Китай), позиции которых валютные и инфляционные риски не смогли изменить.

При анализе инвестиционных рисков на основе расчетов стандартного отклонения дневной доходности ситуация меняется кардинально. Российские индексы во все рассмотренные периоды становятся либо лидерами, либо близки к ним. В период с 25.12.2003 по 25.04.2011 лидерами по рискам стали индекс ММВБ – Московской межбанковской валютной биржи, Ibovespa – индекс биржи Сан-Паулу (Бразилия). Во второй период, с 01.01.2011 по 25.04.2013, к наиболее рисковым фондовым площадкам относились CAC 40 (Cotation Assiste en Continu) – индекс биржи Euronext Paris (Франция), DAX (Deutscher Aktienindex) – индекс Франкфуртской фондовой биржи (Германия). Индекс ММВБ – Московской межбанковской валютной биржи занимает по этому показателю 4-е место. В период с 01.01.2012 по 25.04.2013 наиболее рисковый фондовый индекс первое место – Ibovespa, второе – CAC 40. ММВБ вновь находился на третьем месте. Российские индексы характеризуются повышенными рисками при доходности в посткризисные периоды ниже среднего. В посткризисный период российские индексы ММВБ занимали по доходности 11-е место

из 13 возможных. В современный период ситуация стала незначительно лучше: ММВБ – 11-е место. Лишь в расширенном периоде с 2003 по 2011 г. российские индексы находятся в лидерах по доходности: ММВБ занимает 2-е место. При этом во все периоды российские индексы входят в лидеры по рискам: в расширенном периоде ММВБ занимает 1-е место; в посткризисный и современный периоды – 4-е и 1-е места соответственно. В совокупности это свидетельствует о том, что российский регулятор, ставя пенсионные институты в условия инвестирования средств только на российских фондовых площадках, заставляет их инвестировать в высокорисковые инструменты с пониженной доходностью, а для минимизации рисков резко сокращает ассортимент эмитентов [43].

Инвестиционный портфель, смоделированный из анализируемых фондовых индексов, способствовал бы повышению реальной доходности от инвестирования российских пенсионных накоплений.

Используя данные по среднечасовой доходности фондовых индексов, нами определены необходимые для моделирования корреляции между дневными доходностями индексов мировых фондовых бирж по формуле (5.49). Мы смоделировали инвестиционный портфель с применением программы Investment Portfolio Version 5.0 в соответствии с теорией Марковица по формулам (5.46) – (5.50) в условиях ограничения по рискам на уровне среднего по OECD в размере 3,14 %, как это демонстрирует рис. 3.12. Производилось моделирование трех вариантов портфелей на основе трех временных периодов с 25.12.2003 по 25.04.2011, с 01.01.2011 по 25.04.2013, с 01.01.2012 по 25.04.2013, исходные данные которых представлены в табл. 5.4. Из трех вариантов портфелей на основе расширенного, посткризисного и современного периодов наиболее лояльные результаты для российских фондовых площадок демонстрирует первый, в течение которого российские индексы хоть и отличались повышенными рисками, но при этом входили в лидеры по доходности.

Структура смоделированных портфелей на основе данных расширенного периода с 2003 по 2011 г. приведены на рис. 5.14 и 5.15. При моделировании портфеля, представленного на рис. 5.14, доходность индекса принималась без учета валютных и инфляционных рисков на основе ежемесячных данных, анализ которых позволил минимизировать ошибку от воздействия «шумов». Портфель на рис. 5.15 смоделирован с учетом валютных и инфляционных рисков также на основе ежемесячных данных. Представленные портфели сформированы при условии отсутствия рисковых ссуд (No riskless lending) / Разрешения заимствований (borrowing allowed).

Таблица 5.4

**Среднедневная доходность и среднеквадратические отклонения  
дневной доходности индексов мировых фондовых бирж\***

Показатель	Доходность индекса «грязная», неочищенная от валютных и инфляционных рисков по формуле (5.50) среднедневная/среднемесячная/среднегодовая за период, доли			Инфляция среднедневная/среднемесячная/среднегодовая за период, доли			Доходность «чистая», очищенная от валютных и инфляционных рисков по формуле (5.50) среднедневная/среднемесячная/среднегодовая за период, доли		
	25.12.03 по 25.04.11	01.01.11 по 25.04.13	01.01.12 по 25.04.13	25.12.03 по 25.04.11	01.01.11 по 25.04.13	01.01.12 по 25.04.13	25.12.03 по 25.04.11	01.01.11 по 25.04.13	01.01.12 по 25.04.13
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
DJIA	-0,00017 -0,0051 -0,0601691	0,000304/ 0,00912/ 0,1173314	0,000308/ 0,00924/ 0,118963	0,000275/ 0,008237297/ 0,10557	0,000181/ 0,005440852/ 0,6829	0,000181/ 0,00543451/ 0,06889	-0,00017/ -0,00506/ -0,06017	0,000304/ 0,009072/ 0,117331	0,000308/ 0,009189/ 0,118963
S&P 500	-0,00012 -0,0036 -0,0428571	0,000316/ 0,00948/ 0,1222345	0,000523/ 0,01569/ 0,210272				-0,00012/ -0,00357/ -0,04286	0,000316/ 0,00943/ 0,122234	0,000523/ 0,015603/ 0,210272
NASDAQ	4,07E-05 0,001221 0,0149661	0,000342/ 0,01026/ 0,1329317	0,000628/ 0,01884/ 0,257528				4,07E-05/ 0,001212/ 0,014966	0,000342/ 0,010206/ 0,132932	0,000628/ 0,018735/ 0,257528
FTSE 100 Великобритания	2,50E-05 0,00075 0,0091666	6,32E-05/ 0,001896/ 0,0233354	0,000264/ 0,00792/ 0,101141				2,5E-05/ 0,000743/ 0,009167	6,32E-05/ 0,001886/ 0,023335	0,000264/ 0,007878/ 0,101141
DAX ФРГ	0,000109 0,00327 0,0405848	0,000305/ 0,00915/ 0,1177391	0,001075/ 0,03225/ 0,480181				0,000109/ 0,003245/ 0,040585	0,000305/ 0,009104/ 0,117739	0,001075/ 0,032082/ 0,480181
CAC 40 Франция	-0,00052 -0,0156 -0,1729163	3,59E-05/ 0,001077/ 0,0131895	0,000633/ 0,01899/ 0,259824				-0,00052/ -0,01548/ -0,17292	3,59E-05/ 0,001072/ 0,013189	0,000633/ 0,018891/ 0,259824
Nikkei 225 Япония	2,21E-05 0,000663 0,008099	0,000114/ 0,00342/ 0,0424854	0,000885/ 0,02655/ 0,381103				2,21E-05/ 0,00066/ 0,008099	0,000114/ 0,003399/ 0,042485	0,000885/ 0,026366/ 0,381103
SSE Composite Китай	8,68E-05 0,002604 0,0321878	-0,00037/ -0,0111/ -0,1263496	0,000194/ 0,00582/ 0,07337				8,68E-05/ 0,002591/ 0,032188	-0,00037/ -0,01105/ -0,12635	0,000194/ 0,005788/ 0,07337
Ibovespa Бразилия	0,000162 0,00486 0,0609081	-0,00015/ -0,0045/ -0,0532821	0,000373/ 0,01119/ 0,145819				0,000162/ 0,004853/ 0,060908	-0,00015/ -0,00447/ -0,05328	0,000373/ 0,01115/ 0,145819
BSE Sensex Индия	0,00025 0,0075 0,0955304	-2,80E-05/ -0,00084/ -0,0101681	0,000997/ 0,02991/ 0,438677				0,00025/ 0,007435/ 0,09553	-2,8E-05/ -0,00083/ -0,01017	0,000997/ 0,029737/ 0,438677
KOSPI Ю. Корея	0,000144 0,00432 0,0539618	3,85E-05/ 0,001155/ 0,0141514	0,000409/ 0,01227/ 0,160968				0,000144/ 0,00429/ 0,053962	3,85E-05/ 0,00115/ 0,014151	0,000409/ 0,012214/ 0,160968
Hang Seng Китай	0,000101 0,00303 0,037551	5,92E-05/ 1,78E-03/ 0,0218425	0,00089/ 0,0267/ 0,383623				0,000101/ 0,003015/ 0,037551	5,92E-05/ 0,001768/ 0,021842	0,00089/ 0,026553/ 0,383623
ММВБ	0,000232 0,00696 0,088358	-0,00016/ -0,0048/ -0,0567318	0,000274/ 0,00822/ 0,105167				0,000232/ 0,006903/ 0,088358	-0,00016/ -0,00477/ -0,05673	0,000274/ 0,008175/ 0,105167

\*Источник: Всемирный банк. URL: <http://databank.worldbank.org/data/views/reports/tableview.aspx> (дата обращения: 15.09.2014).

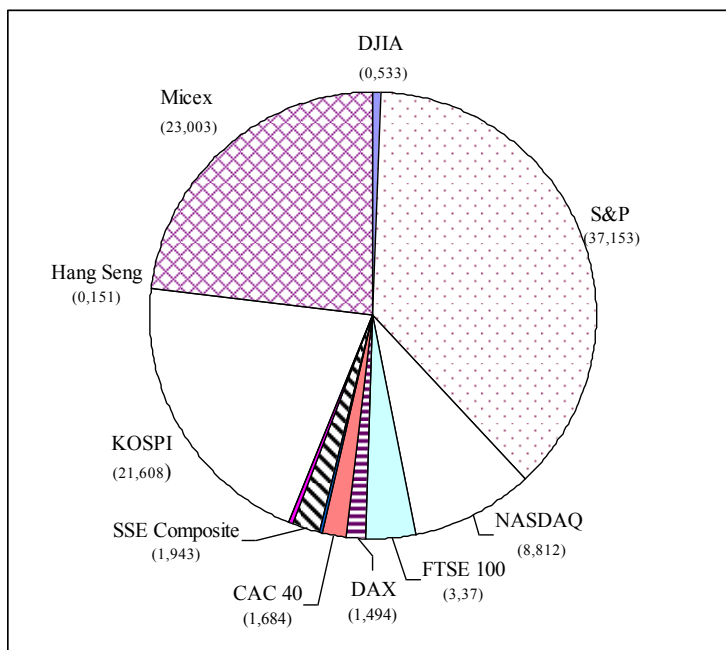


Рис. 5.14. Структура смоделированного по теории Марковица портфеля индексов на основе данных по доходности индексов без учета валютных и инфляционных рисков при риске (волатильности) 3,8 %

Представленный на рис. 5.14 инвестиционный портфель имеет ожидаемую доходность (expected return) 10,9 % и риск портфеля – 3,8 %. Как демонстрирует рисунок, основными инструментами в портфеле инвестирования средств пенсионных накоплений являются американские индексы S&P (доля в портфеле 37,9 %) и Nasdaq (8,64 %), корейский KOSPI (20 %), российский ММВБ (23 %) и английский FTSE 100 (3,3 %).

Как видим на рис. 5.14, доля российского рынка (ММВБ) составляет 25,6 %. Это означает в определенной степени отток инвестиций из России и является негативным фактором. В то же время, как мы показали выше (рис. 5.12), система существующих пенсионных институтов в России при средней доходности –4,57 % от инвестирования частными управляющими компаниями пенсионных накоплений с 2004 по 2011 г. не позволяет обеспечить реальную доходность выше инфляции, что ведет к снижению реаль-

ной стоимости пенсионных накоплений и не позволяет нивелировать растущие демографические риски распределительных пенсионных систем [56].

Примечательно, что портфель сформированный на основе доходности с учетом валютных и инфляционных рисков, представленный на рис. 5.15, имеет практически равную портфелю с рис. 5.14 ожидаемую доходность (expected return) 10,7 % против 10,9 %. При этом риск портфеля нами ограничен на прежнем уровне 3,8 %.

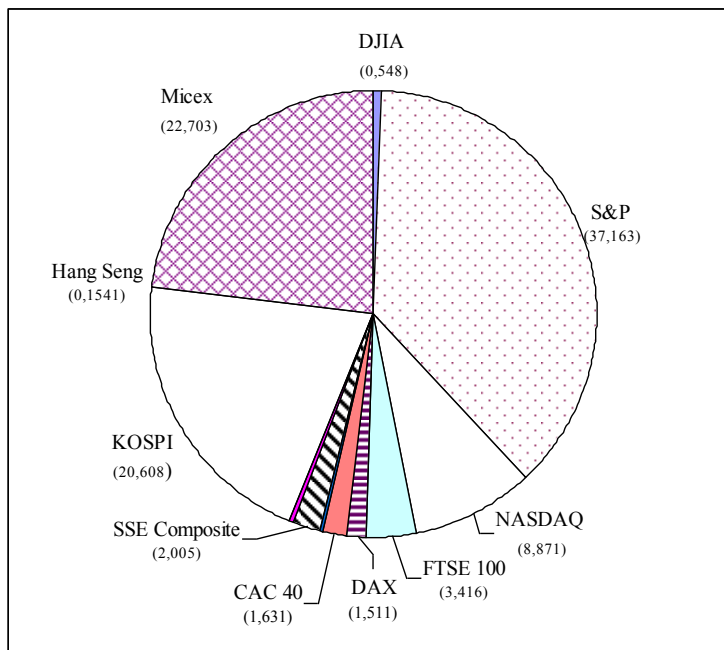


Рис. 5.15. Структура смоделированного по теории Марковица портфеля индексов на основе данных по доходности индексов с учетом валютных и инфляционных рисков при риске (волатильности) 3,8 %

Структура портфеля на рис. 5.15 также незначительно отличается от портфеля с рис. 5.14. Обусловлено это, на наш взгляд, причиной, которая сказалась при анализе доходности индексов с учетом и без учета рисков (см. табл. 5.4 и ее анализ): валютные и инфляционные риски в условиях девальвации рубля были полностью или частично взаимокомпенсированы.



В случае сохранения ограничения по инвестированию средств пенсионных накоплений внутри России формирования портфеля только из инструментов, доступных на российской фондовой бирже. Отметим, что индекс ММВБ рассчитывается в рублях. Составляя инвестиционный портфель из инструментов, входящих в расчет ММВБ, управляющие компании смогли бы получить инвестиционную доходность и риск портфеля, равные аналогичным показателям индекса ММВБ. Доходность составила бы 8,8 % (в рублях), уровень риска (среднеквадратическое отклонение) достиг бы 0,11 (см. табл. 5.4). С учетом инфляции реальная доходность была бы отрицательной и составила бы –1,8 % годовых в рублях. Если сопоставить доходность портфеля, сформированного из российских инструментов при снятых ограничениях по инструментам инвестирования и портфеля, сформированного из иностранных инструментов, то сравнение получается не в пользу российских инструментов: более низкая доходность при более высоких рисках.

Результаты, которые продемонстрировали портфели, представленные на рис. 5.14 и 5.15 при сравнении с достигнутыми показателями при инвестировании пенсионных накоплений в России свидетельствуют о возможности роста инвестиционной доходности.

Значение возможного повышения доходности от инвестирования пенсионных накоплений переоценить сложно. Влияние инвестиционных рисков на пенсионные выплаты из накопительной части пенсионной системы мы представили в формуле (5.14). Для определения влияния инвестиционной доходности инвестиционную доходность  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  поочередно подставим в формулу (5.28), а затем разделим друг на друга, то мы получим:

$$\frac{PV_2}{PV_1} = \frac{\sum_{i=1}^{W-T} (1 + \alpha_2)^{W-T-i}}{\sum_{i=1}^{W-T} (1 + \alpha_1)^{W-T-i}}, \quad (5.52)$$

где  $W$  – возраст выхода на пенсию;

$T$  – средний возраст вступления в трудовую жизнь;

$\alpha_2$  – средняя инвестиционная доходность по смоделированному портфелю, равная 10,9 % в год;

$\alpha_1$  – средняя инвестиционная доходность фактическая по изученному периоду с 2004 по 2013 г., равная –4,57 % в год.

Применим формулу (5.52) для мужчины в возрасте 30 лет, имеющего при возрасте выхода на пенсию 60 лет [57] срок накопления равный 30 годам. Подставляя  $W - T = 30$ , а также инвестиционную доходность по смоделированному нами портфелю, представленному на рис. 5.15 ( $\alpha_2$ ) = 10,7 % и доходность от инвестирования пенсионных накоплений российскими управляющими компаниями ( $\alpha_1$ ) = -4,57 % [58] в формулу (5.52), получим:

$$\frac{PV_2}{PV_1} = \frac{\sum_{i=1}^{19} 1,018^{30-i}}{\sum_{i=1}^{19} (0,9543)^{30-i}} = 2,54. \quad (5.53)$$

Выполняя аналогичные преобразования с коэффициентом замещения (формула (5.52)), мы получим, что соотношение коэффициентов замещения при инвестиционном доходе в 10,7 % и при инвестиционном доходе в -4,57 % составит те же 2,54.

В том случае, если географические ограничения отменены не будут и инвестиционный портфель будет формироваться из российских инструментов при реальной доходности -1,8 % (см. выше), то при применении формулы (5.53) получим:

$$\frac{PV_2}{PV_1} = \frac{\sum_{i=1}^{19} (0,982)^{30-i}}{\sum_{i=1}^{19} (0,9543)^{30-i}} = 1,3. \quad (5.54)$$

Как показывает (5.54), при отмене только инструментальных ограничений без ликвидации географических барьеров при инвестировании пенсионных накоплений рост пенсионных выплат и коэффициента замещения составят 1,34 раза.

Из результатов расчетов (см. формулы (5.53) и (5.54)) видим, что ликвидация географических и инструментальных барьеров при инвестировании средств пенсионных накоплений за счет введения в инвестиционный портфель инструментов с ведущих фондовых бирж мира приведет к значительному росту основных показателей пенсионной системы, таких как пенсионные выплаты и коэффициент замещения. Это может стать ин-

струментом решения проблем распределительных пенсионных систем, подверженных значительному воздействию со стороны демографических рисков [56].

### **Роль институциональных рисков для пенсионных систем**

Выше мы рассматривали воздействие демографических и инвестиционных рисков. В ходе анализа, помимо перечисленных рисков, к основным мы также отнесли институциональные. Если обобщить различные подходы к пониманию институтов и институциональных рисков, то институты – это перечень (свод) правил, требований и обычаев. Таким образом пенсионные институты – это перечень правил, законов, требований и обычаев как формальных, так и неформальных, в соответствии с которыми функционируют пенсионные системы. Соответственно, институциональными рисками для пенсионных институтов являются риски, воздействующие на правила, законы и требования, по которым организуются пенсионные системы.

При анализе воздействия инвестиционных рисков на пенсионные системы мы уже доказали ранее, что вина в заниженной инвестиционной доходности лежит не только на пенсионных фондах и управляющих компаниях, но и на регуляторе. Таким образом, здесь речь может идти о воздействии институциональных факторов, таких как качество управления и качество регулирования на инвестиционную доходность как факторе, воздействующем на основные показатели накопительных пенсионных систем. Это справедливо не только для накопительной пенсионной системы. Введение государственной программы софинансирования пенсий [59] не побудило населения в массовом порядке накапливать средства. По данным Пенсионного фонда РФ, к 2013 г. – году окончания программы софинансирования – воспользовались государственным софинансированием не более 15 % населения [41]. Таким образом, говорить о значительном увеличении основных показателей пенсионных систем на сегодняшний день не приходится. Одной из причин является низкое доверие к пенсионным институтам и влияние, таким образом, институциональных рисков.

Нами предлагается модель по определению воздействия институциональных рисков на пенсионные системы, при анализе которой выявляется значение институциональных факторов для основных показателей и параметров пенсионных систем. Изменяя институциональные факторы

в составленных моделях, мы определяем силу воздействия институциональных рисков на пенсионные системы. Принципиальная схема воздействия институциональных рисков на пенсионные системы приведена на рис. 5.16 (математически мы собираемся доказать это ниже), в соответствии с которой мы и будем строить логику.

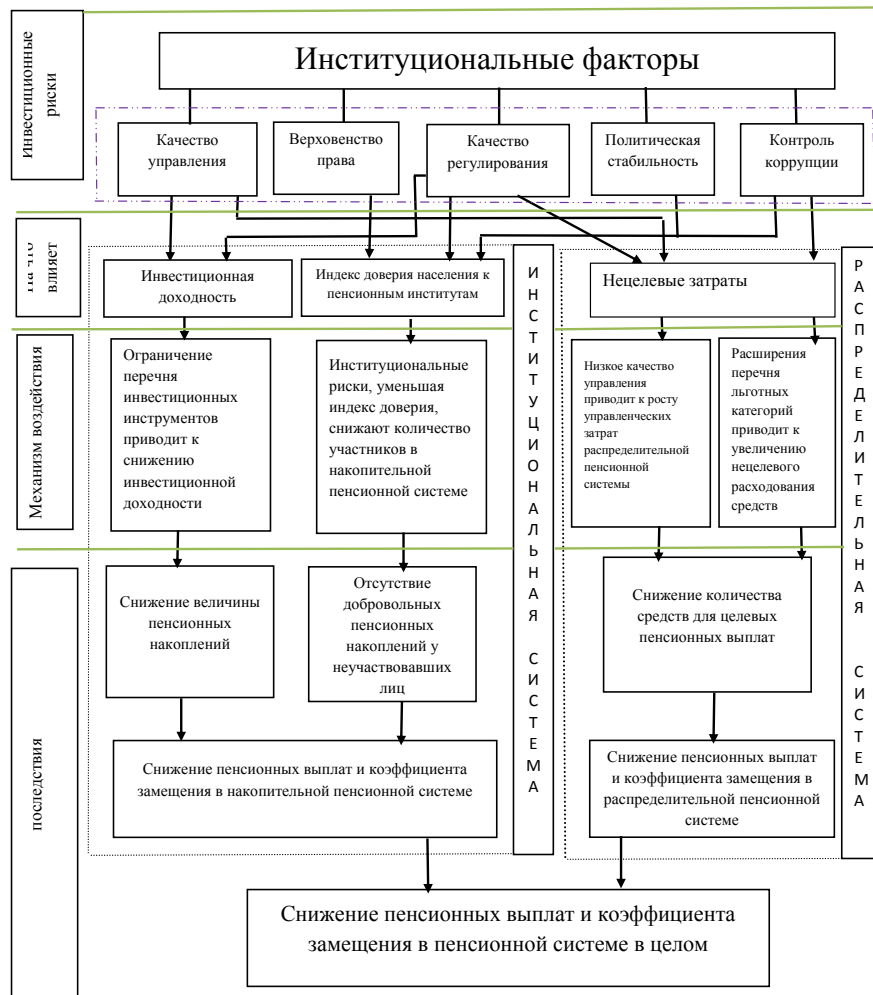


Рис. 5.16. Механизм воздействия институциональных рисков на пенсионную систему

При рассмотрении институциональных рисков пенсионных систем необходимо разграничить пенсионные системы на накопительные и распределительные, что мы уже обсуждали выше.

Воздействие институциональных рисков на пенсионную систему рассматривается нами по трем направлениям:

- влияние институциональных рисков на участие населения в добровольных пенсионных программах через недоверие к пенсионным институтам;
- влияние институциональных рисков на снижение инвестиционной доходности накопительных пенсионных систем через неэффективное регулирование инвестиционной деятельности управляющих компаний и пенсионных фондов;
- влияние институциональных рисков на нецелевые расходы пенсионных систем.

Важность институциональных рисков с точки зрения воздействия на участие населения в добровольных накопительных пенсионных программах была отмечена в аналитическом докладе Министерства труда и социального развития [13], в котором в качестве недостатка накопительных пенсионных программ на примере стран (Чили, Мексика, Боливия, Сальвадор, Доминиканская Республика, Аргентина, Уругвай, Коста-Рика, Панама, Колумбия и Перу), полностью или частично переведших свои пенсионные программы на накопительные принципы, приводится незначительный охват ими населения и неспособность, таким образом, решить проблему снижения коэффициента замещения и пенсионных выплат. Кроме того, в докладе в качестве последствий институциональных рисков названы рост административных затрат на управление накопительными пенсионными системами и их высокая стоимость в процентах от ВВП [60].

Институциональные факторы, воздействующие на финансовые, в том числе пенсионные системы, рассматриваются широко в экономической научной литературе. Среди российских экономистов можно выделить в этой связи работы Гурвича, Гонтмахера, Воронина, Роика, Кузьминой и Ибрагимовой, среди иностранных – La Porta, Guiso, Gianetti.

В работах La Porta и соавторов в качестве факторов, воздействующих на индекс «Антидиректор» (в выборку предприятий включены в том числе финансовые и пенсионные), рассматривались требования к раскрытию информации, бремя доказывания, защита личных прав, доминирование прав руководителей (менеджмента), качество работы судебной системы, уголовные санкции, работа общественных органов [60].

В другой работе авторы анализировали воздействие качества системы судопроизводства, правовые нормы, коррупцию, риск экспроприации, риска отказа контракта, стандартов бухгалтерской отчетности [60]. С помощью корреляционно регрессионного анализа La Porta и соавторы пришли к выводу, что для индекса «Антидиректор» наиболее значимыми являются параметры, характеризующие защиту прав инвесторов.

Guisso и соавторы при изучении индекса доверия, а впоследствии влияния его на участие населения на финансовых рынках, анализируют среди факторов влияния такие, как доверие, источник происхождения права, уровень дохода и образование [62]. В качестве институциональных факторов здесь выступает источник происхождения права.

При изучении индекса «Антидиректор» и воздействие его на активность инвесторов на финансовых рынках Giannetti рассматривались в качестве институциональных факторов такие, как защита прав акционеров, происхождение права, общий правовой уровень, качество работы правоохранительных органов. Кроме того, анализировались также капитализация фондового рынка, отношение капитализации к ВВП, ВВП на душу населения [63].

В исследовании Всемирного банка Doing Business рассматриваются такие институциональные факторы, воздействующие на финансовые, в том числе пенсионные системы, как регистрация и ликвидация предприятий, регистрация собственности, защита инвесторов, налогообложение. Помимо этого, изучаются обеспечение исполнения контрактов, кредитование, получение разрешений на строительство, подключение к системе электроснабжения, международная торговля [11].

При определении индекса верховенства права (Rule of Law Index) Всемирная ассоциация юристов принимает во внимание такие факторы, влияющие в том числе на финансовые, и в частности пенсионные, институты, как качество управления и регулирования, верховенство права, политическая стабильность, контроль коррупции. Кроме того, анализируется предоставление права голоса [64].

Для определения индекса защиты прав собственности (The International Property Right Index) анализирует правовую и политическую среду, права на физическую собственность, права на интеллектуальную собственность [65].

Заметим, что все авторы рассмотренных исследований включали институциональные факторы, в том числе факторы прямо или косвенно характеризующие правовую систему. Обобщим рассмотренные исследования и вы-

делим факторы влияния на финансовые, в частности пенсионные институты. К таким мы будем относить качество управления; качество регулирования; верховенство права; политическая стабильность; контроль коррупции.

В распределительных системах, в которых действуют принципы солидарности, велико значение нецелевых расходов, которые мы также рассматриваем в числе институциональных рисков, так как они появляются в силу регулирования со стороны государства. К нецелевым расходам мы относим не только управленческие расходы на поддержание пенсионных институтов (на которые воздействуют такие институциональные факторы, как качество регулирования и контроль коррупции), но и финансирование выплат пенсий льготным категориям граждан за счет общего бюджета (на которые влияют такие институциональные факторы, как качество регулирования и качество управления). Распределение суммы пенсионных взносов на большее количество получателей на более длительный выплатной период, в свою очередь, ведет к снижению средних основных показателей пенсионной системы.

Влияние институциональных рисков на пенсионные системы будет заключаться в воздействии на активность участия населения, на которое, в свою очередь, повлияет индекс доверия, и через величину инвестиционного дохода. Таким образом институциональные риски в итоге будут воздействовать на основные показатели пенсионных систем – коэффициент замещения и пенсионные выплаты. В пенсионной системе, которая функционирует одновременно и по распределительным и по накопительным принципам (именно к таким относится российская пенсионная система) средний коэффициент замещения будет определяться как сумма коэффициентов замещения по распределительной части и по накопительной части в последней учитываются только участвующие):

$$PZ_{cp} = PZ_{pc_{cp}} + PZ_{nc_{cp}} * \frac{N_{nc}}{n} = PZ_{pc_{cp}} + PZ_{nc_{cp}} * d_{nc} \quad (5.55)$$

где  $PZ_{cp}$  – средний коэффициент замещения пенсии в целом по пенсионной системе;

$PZ_{pc_{cp}}$  – средний коэффициент замещения пенсии по распределительной пенсионной системе;

$PZ_{nc_{cp}}$  – средний коэффициент замещения пенсии по накопительной пенсионной системе;

$N_{nc}$  – число участников накопительной пенсионной системы;

$n$  – число пенсионеров;

$d_{nc}$  – доля населения, участвующая в накопительной пенсионной системе.

Коэффициент замещения характеризует, какую часть утраченного заработка возмещает пенсия, и равен соотношению пенсионных выплат (пенсий) и заработной платы. Таким образом, уравнение (5.55) принимает вид:

$$PZ_{cp} = \frac{PV_{pc_{ch}}}{Zpl_{cp}} + \frac{PV_{nc}}{Zpl_{cp}} * d_{cp} = \frac{PV_{pc_{cp}} + PV_{nc} * d_{cp}}{Zpl_{cp}}, \quad (5.56)$$

где  $PV_{pc_{cp}}$  – средние пенсионные выплаты (пенсии) в распределительной пенсионной системе;

$PV_{nc_{cp}}$  – средние пенсионные выплаты (пенсии) в накопительной пенсионной системе.

Подставляя (5.3) и (5.55) в (5.4) (учтем также, что период индексации заработной платы  $i$  равен периоду трудовой жизни, то есть  $w-v$ ), получаем выражение для среднего коэффициента замещения в пенсионной системе в целом с учетом доли участия населения в накопительной системе:

$$PZ_{cp} = \frac{(1+r)^{w-v} * s * k}{n} * (1 - d_{uz} - d_{lp}) + \frac{s_H \times \sum_{q=1}^{w-M} ((1+r) \times (1+a))^q}{z - w} * d_{cp}. \quad (5.57)$$

Значение институциональных рисков для основного показателя пенсионной системы коэффициента замещения пенсии (5.57) заключается в воздействии на:

1) количество (долю) населения  $d_{cp}$ , участвующего в накопительной пенсионной системе через низкое доверие населения к пенсионной системе, что проявляется в низком индексе доверия;

2) инвестиционную доходность через неэффективное и/или чрезмерное регулирование инвестиционной деятельности управляющих компаний и пенсионных фондов;

3) величину (долю) нецелевых расходов распределительной пенсионной системы, направляемых на финансирование управленческих затрат ( $d_{uz}$ ) и выплаты пенсий льготным категориям граждан ( $d_{pl}$ ).

Если вопрос измерения институциональных рисков достаточно широко и глубоко изучен прежде всего зарубежными экономистами, как мы



показали уже в предыдущем разделе, то воздействие институциональных рисков на пенсионные институты рассмотрено недостаточно. Нам представляется, что влияние институциональных рисков на финансовые, и в частности пенсионные, институты должно проходить по двум направлениям. Среди них выделим воздействием институциональных рисков на результаты инвестиционной деятельности пенсионных институтов, обусловленных ее «зарегулированностью», и влияние институциональных рисков на участие застрахованных в накопительных пенсионных программах. Математически мы показали это воздействие в формуле (5.52).

Для анализа институциональных рисков нами применен корреляционно-регрессионный анализ участия населения в добровольных накопительных пенсионных программах и влияния на него параметров. Анализ проводился на основе данных по группе 23 стран, в которую вошли Австралия, Австрия, Канада, Чехия, Дания, Финляндия, Франция, Германия, Венгрия, Исландия, Ирландия, Италия, Корея, Нидерланды, Новая Зеландия, Норвегия, Португалия, Испания, Швеция, Турция, Великобритания, США, Россия.

В качестве характеризующей активность населения на пенсионном рынке целевой функции исследовались три показателя:

- 1) доля населения (в процентах от работоспособного), участвующего в дополнительном пенсионном обеспечении;
- 2) объем средств дополнительного обеспечения (в процентах от ВВП);
- 3) коэффициент замещения по дополнительному пенсионному обеспечению (в процентах средней заработной платы по стране)

В качестве параметров влияния нами анализировались следующие группы критериев:

1. Факторы, характеризующие уровень жизни.
2. Факторы, характеризующие демографическую ситуацию.
3. Факторы развития системы обязательного пенсионного страхования.
4. Факторы, характеризующие уверенность населения в будущем.
5. Факторы удовлетворенности финансами семьи.
6. Факторы уверенности и доверия правительству.
7. Отметим, что параметрами, характеризующими институциональные риски, являются факторы 6-й группы.

При определении влияния факторов, характеризующих уровень жизни, нами анализировались средние доходы населения, долларов США в год. Источником по всем странам выступала база OECD Stat [18].

В качестве факторов, характеризующих демографическую ситуацию, нами исследованы два критерия – продолжительность пенсионных выплат (средняя между мужчинами и женщинами) и продолжительность жизни. Источником данных выступала база OECD Stat [31], для России – Госкомстат РФ [12].

Факторы развития системы обязательного и пенсионного страхования рассматривались по таким параметрам, как сумма средств по обязательному пенсионному страхованию (в процентах от ВВП), коэффициент замещения по обязательному пенсионному страхованию (для гражданина со средним уровнем заработка) (процент от средней заработной платы) и средняя пенсия по обязательному пенсионному страхованию (долларов США в год). Источником данных выступала база OECD Stat [18, 31].

Для анализа групп факторов 4 и 6 нами выделены из критериев WVS критерии, влияющих напрямую или косвенно на доверие населения к государственным и/или финансовым институтам, которые разбили на группы. К таким параметрам мы отнесли:

1. Факторы, характеризующие уверенность населения в будущем.

1.1. Уверенность в будущем (Future changes: Greater respect for authority) (номер критерия в исследовании WVS-V78 (пятая волна)/E018 (четвертая волна)).

1.2. Уверенность в накоплении будущего богатства (Wealth accumulation) (номер критерия в исследовании WVS – V121 (пятая волна)/E041 (четвертая волна)).

1.3. Уверенность в основных компаниях (Confidence: Major Companies) (номер критерия в исследовании WVS – V142 (пятая волна)/E081 (четвертая волна)).

2. Факторы удовлетворенности финансами семьи.

2.1. Удовлетворенность финансовым положением семьи (Satisfaction with financial situation of household) (номер критерия в исследовании WVS – V68 (пятая волна)/C006 (четвертая волна)).

3. Факторы уверенности и доверия правительству.

3.1. Ответственность правительства (Government responsibility) (номер критерия в исследовании WVS – V118 (пятая волна)/E037 (четвертая волна)).

3.2. Уверенность в правительстве (Confidence: The Government ) (номер критерия в исследовании WVS – V138 (пятая волна)).

Исходные данные для корреляционно-регрессионного анализа воздействия факторов влияния на участие населения в дополнительном пенсионном обеспечении представлены в табл. 5.5.

Таблица 5.5

**Параметры влияния для участия населения в дополнительном  
пенсионном обеспечении**

Страна	ФУНКЦИЯ			ФАКТОРЫ ВЛИЯНИЯ												Факторы удовлетворенности и доверия правительству	
	Фактор уровня жизни	Факторы демо- графии		Факторы развития системы обязательного пенсионного страхования				Факторы-индексы уверенности в бу- дущем				Факторы удовлетворенности финансами семьи					
		Коэф- фици- ент заме- щения % от ДПО, % по ВВП	Объем средств ДПО, % от ВВП	Сред- ние до- ходы, долл. в год	Продол- житель- ность пен- сионных выплат (средняя между мужчин и женщин)	Продол- житель- ность жизни	Обяза- тельное пенс- сионное страхо- вание, % от ВВП	Коэф- фици- ент заме- щения по обяза- тельно- му пенс. страхо- ванию	Средняя пенсия по обяза- тельному пенс- сионному страхо- ванию, долл в год	Уве- рен- ность в на- копле- нии буду- щего богат- ства	Уве- рен- ность в основ- ных компа- ниях	Уве- лен- ность финан- совым поло- жением семьи	Ответ- ствен- ность в прави- тель- стве				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
Австралия	19,9	1,9		50 400	21,45	81,5	3,3	58,9	29685,6	8,4788	6,183	5,4675	6,336	5,831	5,79		
Австрия	18			56 800		79,9	12,3	89,9	51063,2								
Канада	32,8	4,1	39,9	40 200	19,85	80,6	4,2	50,4	20260,8	8,7	6,7	5,6	7,0	6,0	5,7		
Чехия	62,1			16 100		76,4	7,4	62,2	10014,2								
Дания	23,6			70 500		82,6	5,6	89,8	63309,0								
Финляндия	19,1	0,2		54 500		79,6	8,3	65,4	35643,0	7,0	6,1	6,0	7,0	6,0	6,7		
Франция	5,4	0,2		47800	24,1	81,1	12,5	60,4	28871,2	9,4	6,2	5,7	6,1	5,9	5,0		
Германия	35,2	0,8	22,6	60500	18,85	79,8	10,7	56,0	33880,0	7,7	6,1	5,2	6,1	4,5	5,0		
Венгрия	20			13 600		73,3	9,1	106,0	14416,0								
Исландия	41,9			46 200		81,7	1,9	101,1	46708,2								
Ирландия	12			59 700		83,3	3,6	31,3	18686,1								
Италия	6,9	0,2		38500	25,3	81,1	14,1	71,7	27604,5	8,0	6,6	5,8	6,5	4,8	5,2		
Корея	23,4			30400		79,2	1,7	47,5	14440,0	6,2	6,0	6,2	5,6	3,5	6,0		

Нидерланды	28,3	5,2		63600	19	79,9	4,7	99,8	63472,8	8,9	5,8	5,5	6,8	5,3	5,2
Новая Зеландия	63,7		15,5	70700		80,2	4,3	41,1	29057,7	8,2	6,3	5,8	6,7	6,3	5,8
Норвегия	23,2	0,6	13,6	77900	17,3	80,6	4,7	60,3	46973,7	6,3	6,5	6,3	7,4	5,1	6,3
Португалия	5,1			23 500		78,7	10,8	69,2	16262,0						
Испания	15,7			33900		80,8	8,0	84,9	28781,1	9,2	5,1	5,5	5,9	4,4	5,9
Швеция	27,1	2,1		53400	19,5	80,9	7,2	53,6	28622,4	5,5	6,6	6,2	7,1	6,4	5,9
Турция	4,7			14500		71,8	6,1	93,1	13499,5	8,2	5,5	6,0	6,0	4,8	6,9
Великобритания	11,1	4,5	43,1	61500	20,7	79,4	5,4	37,4	23001,0	9+,1	6,0	5,7	6,7	5,9	5,4
США	22	4,3	46,6	40300	18,05	79,1	6,0	47,3	19061,9	8,4	6,2	5,4	5,9	5,9	5,8
Россия <sup>3</sup>	10,1 <sup>2</sup>	1,4 <sup>4</sup>	5,8 <sup>5</sup>	<b>6379,4</b>		67	5,8 <sup>1</sup>	30,9	1970,4	7,9	4,9	5,4	4,7	3,4	5,8
(курс долл 25,57)															

*Примечание:*

- 1) Рассчитано авторами на основании данных Госкомстата РФ за 2007 г. (доходы ПФР в 2007 г. в сумме 1 914 133,20 млн руб., ВВП 33 247 513,23 млн руб. [12].
- 2) Рассчитано авторами на основании данных Госкомстата РФ за 2007 г. (численность трудоспособного населения в 2007 г. 67 084 тыс. чел. [12]; Численность участников программ ДПО в 2007 г. 6 757,1 тыс. чел.).
- 3) Источник данных по РФ (факторы столбцы 2–10) – Госкомстат РФ [12].
- 4) Рассчитано авторами на основании данных Госкомстата РФ (ВВП России в 2007 г. – 33 247 513,23 млн руб. [12] и данных Ассоциации негосударственных пенсионных фондов РФ (пенсионные резервы негосударственных пенсионных фондов в 2007 г. 472 889 млн руб. [27]).

## 5) Рассчитано авторами:

- а) в соответствии с данными Ассоциации негосударственных пенсионных фондов РФ (средняя негосударственная Wvz(94znA-yCP)/A пенсия на 1 участника 13 489,8 руб. [27]);
- б) количество получателей негосударственной пенсии (негосударственные пенсионные фонды в цифрах, приложение к отчету Национальной ассоциации негосударственных пенсионных фондов <http://www.narfp.ru/78436>) 1026,2 тыс. чел., что составляет 2,75 % от количества получателей трудовой пенсии 37 250,7 тыс. чел. [27];
- в) средняя негосударственная пенсия на 1 пенсионера с учетом распространения негосударственного пенсионного обеспечения 371,6 руб. (негосударственные пенсионные фонды в цифрах (приложение к отчету национальной ассоциации негосударственных пенсионных фондов <http://www.narfp.ru/78436>) = 13 489,8 руб. (из п. а) · 0,0275 (из п. б));
- 5.4 Коэффициент замещения пенсии по дополнительно пенсионному обеспечению составляет 5,8 % (= 371,6 руб. (из п. 5.3)/6 379,4 руб. (из столбца 5 рассматриваемой таблицы)).

Гипотезы о значимости факторов (столбцы 5–16 табл. 5.5) для изучаемых функций (столбцы 2–4 табл. 5.5), характеризующих уровень развития добровольного пенсионного обеспечения проверялись нами с помощью коэффициентов линейной корреляции и  $p$ -значений (P-value) с применением программы Stat Graph. Для проверки значимости фактора при изменении рассматриваемой функции нами рассчитывалось  $p$ -значение, характеризующую вероятность ошибки при отклонении нулевой гипотезы, которое равно вероятности того, что случайная величина с данным распределением (распределением тестовой статистики при нулевой гипотезе) примет значение, не меньшее, чем фактическое значение тестовой статистики. При анализе справедливости нашей гипотезы о значимости факторов для исследуемых функций они отвечают статистическому распределению. В соответствии с теорией статистики [66], если  $p(t)$  меньше заданного уровня значимости, то гипотеза отвергается. В противном случае она не отвергается. В качестве уровня значимости нами принята величина  $p$ -значения на уровне 5 %.

Для анализа значимости параметров при влиянии на функцию «участие в ДПО, в процентах от населения в возрасте 16–60» мы применяем методики корреляционно-регрессионного анализа с расчетом коэффициентов корреляции и  $p$ -значений посредством специализированной статистической программы Stat Graph 2011.

Применяя программу Stat Graph 2011 для определения линейных коэффициентов корреляции  $p$ -значений для значений таблицы при изучении функции «участие в ДПО, в процентах от населения в возрасте 16–60», нами получена значимость для факторов «уверенность в накоплении будущего богатства» (столбец 12 табл. 5.5) (коэффициент корреляции 0,905) и обязательное пенсионное страхование (Public pension spending) в процентах от ВВП (там же столбец 8) (коэффициент корреляции 0,667).

Исходя из установленного лимита значимости фактора на основе  $p$ -значения, значимое влияние для функции *участие в ДПО населения, в процентах от населения в возрасте 16–60, имели следующие факторы:*

- продолжительность пенсионных выплат – показатель из группы демографических факторов, характеризующий демографическую ситуацию в стране;
- объем общественных (обязательных) пенсионных планов, в процентах от ВВП – фактор развития обязательного пенсионного страхования – показатель из группы развития системы обязательного пенсионного страхования;

– уверенность в накоплении будущего богатства – факторы уверенности в будущем – показатель из группы институциональные факторы.

Остальные факторы, такие как средние доходы, продолжительность жизни, коэффициент замещения по обязательному пенсионному страхованию, средняя пенсия по обязательному пенсионному страхованию, уверенность в будущем, уверенность в основных компаниях, удовлетворенность финансовым положением семьи, оказались в соответствии с корреляционно-регрессионным анализом незначимыми.

Корреляционно-регрессионный анализ этих факторов влияния, проведенный с помощью программы Stat Graph 2011 на основе данных таблицы «Параметры влияния для участия населения в дополнительном пенсионном обеспечении», позволил нам определить коэффициенты корреляции, коэффициенты корреляции, «очищенные» от выбросов, не укладывающиеся в выборку и корреляционно-регрессионные уравнения.

При анализе влияния фактора продолжительности пенсионных выплат (столбец 6 табл. 5.5) на функцию доля участия населения в дополнительном пенсионном обеспечении (ДПО) (столбец 2 той же таблицы) коэффициент корреляции (по всей изучаемой выборке) составил  $-0,437$ . Коэффициент корреляции, очищенный от статистических выбросов, составил  $-0,923$ . Корреляционное уравнение между рассматриваемыми функциями – доля населения *в возрасте 16–64, участвующая в ДПО населения* (col\_2), и фактором продолжительность пенсионных выплат (col\_6) имеет вид:

$$\text{Col}_2 = 18,5441 - 0,737009 * \text{Col}_6. \quad (5.58)$$

Как видим на рисунке и в выражении (5.58), зависимость отрицательная. Это говорит о том, что доля населения, участвующего в ДПО, снижается при увеличении продолжительности выплат по обязательному страхованию. Это может быть объяснено несколькими причинами: 1) увеличение продолжительности пенсионных выплат может быть вызвано снижением пенсионного возраста, что демотивирует население самостоятельно накапливать на пенсию; 2) рост продолжительности пенсионных выплат может быть связан с повышением возраста жизни, что увеличивает у населения патерналистские чувства, что также отрицательно сказывается на участии в ДПО.

Отрицательный характер имеет также корреляционно-регрессионная зависимость между участвующим ДПО населением (col\_2) и развитием обязательной пенсионной системы, которое мы измеряли как объем резервов в процентах от ВВП (col\_8). Корреляционно-регрессионное уравнение имеет вид:

$$\text{Col}_2 = 29,5917 - 1,62735 * \text{Col}_8. \quad (5.59)$$

Коэффициент корреляции по всей выборке при анализе воздействия уверенности в накоплении будущего богатства (col\_12) на долю участия населения в ДПО (col\_2) составил 0,344. Коэффициент корреляции, очищенный от статистических выбросов, составил 0,905. Корреляционное уравнение влияния уверенности в накоплении будущего богатства (col\_12) на долю участия населения в ДПО (col\_2) имеет вид:

$$\text{Col}_2 = -25,288 + 7,61911 * \text{Col}_{12}. \quad (5.60)$$

Положительный характер зависимости говорит о позитивном воздействии институционального фактора, которым является коэффициент уверенности в накоплении будущего богатства, на развитие накопительных пенсисонных систем, которыми являются системы дополнительного пенсисонного обеспечения. Наш вывод подтверждает выводы L. Guiso и M. Sapienza о позитивном влиянии индекса доверия на активность населения на финансовых рынках. Одновременно наш вывод дает косвенное подтверждение выводам M. Giannetti, Y. Koskinen, которые в своем исследовании пришли к выводу о позитивном влиянии на финансовые рынки индекса «Антидиректор».

Сводные результаты воздействия значимых факторов влияния для функции участия населения в ДПО представлены в табл. 5.6

Как демонстрируют наши расчеты коэффициентов корреляции, сведенные в табл. 5.6 факторы по уровню значимости распределились следующим образом (в порядке убывания значения коэффициента корреляции):

1. Уверенность в накоплении будущего богатства.
2. Продолжительность пенсионных выплат.
3. Объем общественных (обязательных) пенсионных планов.

Таблица 5.6

**Результаты корреляционного-регрессионного анализа  
воздействия значимых факторов влияния  
на функцию участие населения в ДПО (col\_2)**

Параметр	Факторы влияния для функции <i>участие в ДПО населения, в процентах от населения (col_2)</i>		
	Продолжительность пенсионных выплат (col_6)	Объем общественных (обязательных) пенсионных планов (col_8)	Уверенность в накоплении будущего богатства (col_12)
Коэффициент корреляции	Correlation Coefficient = 0,764057	Correlation Coefficient = 0,368735	Correlation Coefficient = 0,344439
Коэффициент корреляции, очищенный от статистических выбросов	Correlation Coefficient = 0,764057	Correlation Coefficient = 0,667097	Correlation Coefficient = 0,905485
Корреляционно-регрессионное уравнение	Col_2 = 84,4223 - 3,0981*Col_6	Col_2 = 29,5917 - 1,62735*Col_8	Col_2 = -25,288 + 7,61911*Col_12
Ранг фактора влияния (по коэффициенту корреляции выборки, очищенной от статистических выбросов)	II	III	I

Примечательно, что первым по значимости для участия населения в ДПО стала уверенность в накоплении будущего богатства, косвенно характеризующий институциональный риск. Однако, отметим, что факторы, которые мы отнесли к группе институциональных факторов – ответственность правительства и уверенность в правительстве, характеризующих уверенность и доверие населения и являющихся таким образом характеристикой институциональных рисков, оказались не значимыми. Также не значимыми проявили себя такие факторы, как уверенность в будущем и уверенность в основных компаниях, которые могут также выступать косвенной характеристикой институциональных рисков. Среди косвенных институциональных факторов значимым является только фактор уверенности в накоплении будущего богатства.



Для проверки наших выводов о влиянии и невлиянии институциональных факторов на развитие дополнительного обеспечения мы провели корреляционный регрессионный анализ по воздействию факторов влияния на объем средств ДПО в процентах от ВВП как функции. Показателем значимости фактора для рассматриваемой функции выступило  $p$ -значение, лимит которого принят на уровне в 5 %. В качестве факторов влияния рассматривались следующие факторы:

- продолжительность пенсионных выплат;
- объем средств обязательных пенсионных планов;
- коэффициент замещения по обязательному пенсионному;
- средняя пенсия по обязательному пенсионному страхованию;
- индекс уверенности в будущем.

Корреляционно-регрессионный анализ влияния фактора «Продолжительность пенсионных выплат № (col\_6)» на объем дополнительного пенсионного обеспечения в процентах от ВВП (col\_3) показал коэффициент корреляции по всей выборке на уровне  $-0,437$ , коэффициент корреляции, очищенный от статистических выбросов, составил  $0,923$ . Корреляционно-регрессионное уравнение для рассматриваемых фактора (col\_6) и функции (col\_3) имеет вид:

$$\text{Col\_3} = 18,5441 - 0,737009 * \text{Col\_6}. \quad (5.61)$$

Как видим из выражения (5.61), зависимость имеет отрицательный характер, что косвенно подтверждает выводы, сделанные нами ранее о отрицательном воздействии продолжительности пенсионных выплат в рамках обязательных пенсионных систем на участие населения в добровольных накопительных системах.

Отрицательный характер зависимости мы наблюдаем также при анализе корреляционно-регрессионной зависимости объема средств по ДПО (col\_3) от объема общественных (обязательных) пенсионных планов, в процентах от ВВП (col\_8). Коэффициент корреляции составил  $0,764$ . Все анализируемые значения попали в доверительный интервал, и таким образом коэффициент корреляции, очищенный от статистических выбросов, составил также  $0,764$ . Корреляционно-регрессионное уравнение для рассматриваемых фактора и функции имеет вид:

$$\text{Col\_3} = 84,4223 - 3,0981 * \text{Col\_8}. \quad (5.62)$$

Отрицательное влияние обязательных пенсионных систем на развитие добровольных подтверждает наши предположения о патернализме как причине отрицательного влияния обязательных пенсионных систем на добровольные.

Подтверждение об отрицательном влиянии на систему добровольного пенсионного обеспечения со стороны обязательных систем мы находим при корреляционно-регрессионный анализе влияния коэффициента замещения (обязательных) пенсионных планов (col\_9) на объем средств по ДПО в процентах от ВВП (col\_3). Коэффициент корреляции составил по всей выборке  $-0,039$ , а очищенный от статистических выбросов:  $-0,883$ . Корреляционно-регрессионное уравнение имеет вид

$$\text{Col}_3 = 11,1008 - 0,164069 * \text{Col}_9. \quad (5.63)$$

Анализ зависимости объема средств по дополнительному пенсионному обеспечению (col\_3) от средней пенсии по общественному (обязательному) пенсионному страхованию (col\_10) подтвердил наши выводы об обратной взаимозависимости обязательных и добровольных пенсионных систем: коэффициент корреляции для всей выборки значений составил  $-0,0886$ , очищенный от статистических выбросов:  $-0,999$ . Отметим практически стопроцентную обратную зависимость развития дополнительного пенсионного обеспечения от средней пенсии по обязательному пенсионному страхованию. Корреляционно-регрессионное уравнение для рассматриваемой зависимости имеет вид:

$$\text{Col}_3 = 8,85214 - 0,000236184 * \text{Col}_{10}. \quad (5.64)$$

Последним значимым фактором по влиянию на объем средств дополнительного пенсионного обеспечения (col\_3) является институциональный фактор «Уверенность в будущем» (col\_11). Отметим, что при исследовании в качестве функции объема средств по ДПО в процентах от ВВП этот фактор стал единственным, не относящимся к группе развития обязательного пенсионного страхования. Коэффициент корреляции для полной выборки этой зависимости составил  $0,4$ , для выборки, очищенной от статистических выбросов,  $-0,795$ . Уравнение зависимости имеет вид:

$$\text{Col}_3 = -12,4904 + 1,83747 * \text{Col}_{11}. \quad (5.65)$$

Как видим в выражении (5.65), зависимость имеет положительный характер, что также выделяет этот фактор влияния на фоне других зна-

чимых факторов, которые имели отрицательное влияние. Наш вывод о положительном влиянии институционального фактора уверенности в будущем также подтверждает выводы L. Guiso и M. Sapienza о позитивном влиянии индекса доверия на активность населения на финансовых рынках и косвенно доказывает выводы M. Giannetti, Y. Koskinen о воздействии индекса «Антидиректор» на активность населения на финансовом рынке. Сводные результаты воздействия значимых факторов влияния для функции объема средств по ДПО представлены в табл. 5.7

Таблица 5.7

**Результаты корреляционного-регрессионного анализа воздействия значимых факторов влияния на функцию объем средств по ДПО (col\_3)**

Параметр	Факторы влияния для функции «Величина средств дополнительного пенсионного обеспечения» (col_3)				
	Продолжительность пенсионных выплат (col_6)	Объем общественных (обязательных) пенсионных платежей (col_8)	Коэффициент замещения (col_9)	Средняя пенсия по ОПС (col_10)	Индекс уверенности в будущем (col_11)
Коэффициент корреляции	0,437	0,764	0,039	0,0886	0,4
Коэффициент корреляции, очищенный от статистических выбросов	0,923	0,764	0,883	0,999	0,795
К о р р е л я ц и о н н о - р е г р е с с и о н н о е уравнение	Col_3 = = 18,5441 - -0,737009* Col_6	Col_3 = =84,4223 - -3,0981* Col_8	Col_3 = =11,1008 - -0,164069* Col_9	Col_3 = =8,85214 - -0,000236184* Col_10	Col_3 = -12,4904 + +1,83747* Col_11
Ранг фактора влияния (по коэффициенту корреляции выборки, очищенной от статистических выбросов)	II	V	III	I	IV

Как демонстрирует табл. 5.7, факторы влияния имеют разную степень значимости при воздействии на объем средств ДПО. По степени влияния факторы располагаются (в порядке убывания коэффициента корреляции):

1. Средняя пенсия по ОПС.
2. Продолжительность пенсионных выплат.
3. Коэффициент замещения.
4. Индекс уверенности в будущем.
5. Объем общественных (обязательных) пенсионных планов.

Как видим, наиболее значимыми факторами являются параметры демографии и развития обязательного пенсионного страхования. Факторы, характеризующих институциональные риски, по влиянию на объем средств ДПО являются не значимыми. Лишь один фактор – индекс уверенности в будущем, отражающий уверенность населения и косвенно характеризующий институциональные риски, – стал значимым по воздействию на объем средств ДПО.

Если анализировать воздействие факторов влияния на развитие ДПО через функции объем средств ДПО и доли населения, участвующего в ДПО, по совокупности, то увидим, что лишь два фактора оказывают влияние одновременно на обе рассматриваемые функции – продолжительность пенсионных выплат и объем средств по общественному (обязательному) пенсионному страхованию. Эти факторы относятся к параметрам демографии и развития обязательных пенсионных институтов. Факторов, характеризующих прямо или косвенно институциональные риски, среди значимых одновременно для объема средств по ДПО и доли участия населения в ДПО нет.

Таким образом, говорить о институциональных факторов как о перво-степенных для развития дополнительного пенсионного обеспечения (как это мы делаем в отношении демографических параметров) мы не можем. Однако институциональные риски оказывают воздействие на развитие отдельных элементов дополнительного пенсионного обеспечения.

Институциональные риски, выражающиеся в снижении доли участия населения, актуальны прежде всего для добровольных пенсионных систем, функционирующих по накопительному принципу. В России институциональные риски оказывают влияние на программы дополнительного пенсионного обеспечения и программу софинансирования пенсии.

Программа софинансирования пенсий формируется на добровольных началах по накопительному принципу из средств физических лиц с софи-

насированием со стороны государства. Предусматривается также возможность софинансирования со стороны работодателей. Программа предусматривает государственное участие на протяжении 10 лет и регламентирована Федеральным законом «О дополнительных страховых взносах на накопительную часть трудовой пенсии и государственной поддержке формирования пенсионных накоплений» [67]. В программе участвуют 15,8 млн граждан [68], что составляет от 75,5 млн человек [69] экономически активного населения страны 20,9 %. Таким образом, чуть менее 80 % экономически активного населения в программе не участвует, что связано в том числе с институциональными рисками. Воздействие «неучастия» на основной показатель пенсионной системы значительное.

Расчеты влияния программы софинансирования на коэффициент замещения мы провели для застрахованных лиц с периодом накопления 10 лет и 30 лет. При этом уровень инвестиционной доходности нами принят на уровне 5,14 % – определенной выше доходности портфеля, сформированного из 14 ведущих мировых индексов. Уровень страховых взносов приняты в размере 12 тыс. руб. от физических лиц и 12 тыс. руб. – софинансирования со стороны государства. Коэффициент замещения мы оценивали исходя из прогноза заработной платы в 40 тыс. руб. для 2020 г. и средней пенсии в 16 тыс. руб. [70] в соответствии со стратегией-2020. Сумма пенсионных накоплений определяется нами по формуле

$$S = (Vz_{г-ва} + Vz_{ф.л.}) * \sum_{r=1}^n (1+r)^i \quad (5.66)$$

где  $Vz_{г-ва}$  – взносы государства по программе софинансирования (для наших расчетов приняты в размере 12 тыс. руб. в год);

$Vz_{ф.л.}$  – взносы физического лица по программе софинансирования (для наших расчетов приняты в размере 12 тыс. руб. в год);

$r$  – ставка доходности в год от инвестирования средств по программе софинансирования, долях (для наших расчетов приняты в размере 0,0514);

$i$  – порядковый номер года участия в программе софинансирования;

$n$  – накопительный период участия в программе софинансирования (при расчетах мы рассматриваем варианты: а) 10 лет, б) 15 лет, в) 20 лет, г) 25 лет, д) 30 лет.

Величина пенсионных выплат ( $PV$ ) и коэффициент замещения ( $KZ$ ) определяются по формуле (5.1) и (5.4) соответственно

$$PV = \frac{(Vz_{z-ва} + Vz_{ф.л.}) * \sum_{r=1}^n (1+r)^i}{d_v * 12}, \quad (5.67)$$

где  $PV$  – пенсионные выплаты по программе софинансирования пенсий;  
 $d_v$  – период пенсионных выплат (принят равным 19 лет исходя из норм Федерального закона «Об обязательном пенсионном страховании в Российской Федерации» [67]).

$$KZ = \frac{(Vz_{z-ва} + Vz_{ф.л.}) * \sum_{r=1}^n (1+r)^i}{Zpl * d_v * 12}, \quad (5.68)$$

где  $Zpl$  – средняя заработная плата.

Результаты расчетов по формулам (5.64) – (5.66), а также влияние программы на средний коэффициент замещения с учетом доли населения, участвующего в программе софинансирования, представлено на рис. 5.17.

Как можно увидеть на рис. 5.16, ощутимый вклад программа софинансирования сможет принести при 30 накопительном периоде: коэффициент замещения для участника программы увеличится за счет участия в ней на 9,55 %. Однако с учетом доли участия населения в программе на уровне 20,9 % средний коэффициент замещения снижается при 30-летнем накопительном периоде до 2 %. При 10-летнем накопительном периоде вклад программы софинансирования в коэффициент замещения уменьшится с незначительных 3,5 % для ее участника до незначимых 0,74 % в среднем для всего населения. Столь значительное снижение обусловлено массовым неучастием в программе, что связано в том числе с институциональными рисками.

Роль именно институциональных рисков в неучастии населения в накопительных пенсионных программах мы определим, сопоставив активность населения на рынке банковских депозитах и рынке пенсионных программ. Отметим, что в обоих случаях речь будет идти об «одинаковом» населении, то есть обладающем одинаковым уровнем образования, имеющем один уровень дохода, количество детей, состав семьи, – параметры являющиеся значимыми при определении индекса доверия по методике Gianetti при изучении влияния на активность населения на финансовых рынках. Таким образом, разница в активности населения на банковском и

пенсионном рынке будет как раз обусловлена институциональными рисками. По оценкам Агентства по страхованию вкладов, доля населения, имеющая, или имевшая банковские вклады, составляет 60 % [71]. При таком уровне участия коэффициент замещения при 10-летнем накопительном периоде составит 2,1 %, при 30-летнем – 5,73 % от средней заработной платы. Таким образом, воздействие программы софинансирования на коэффициент замещения при 10-летнем накопительном периоде составляет 1,4 %, при 30-летнем – 3,82 %. Возможность увеличения вклада программы софинансирования связана в том числе с развитием пенсионным институтам, повышения индекса доверия к ним, что приведет к увеличению доли граждан участвующих в добровольных накопительных пенсионных систем однако, как мы уже выяснили в ходе анализа работ Gianneti, Koskinnen, Guiso и La Porta, увеличение до 30 % – это максимально возможный уровень участия населения в добровольных финансовых, в том числе пенсионных программах.

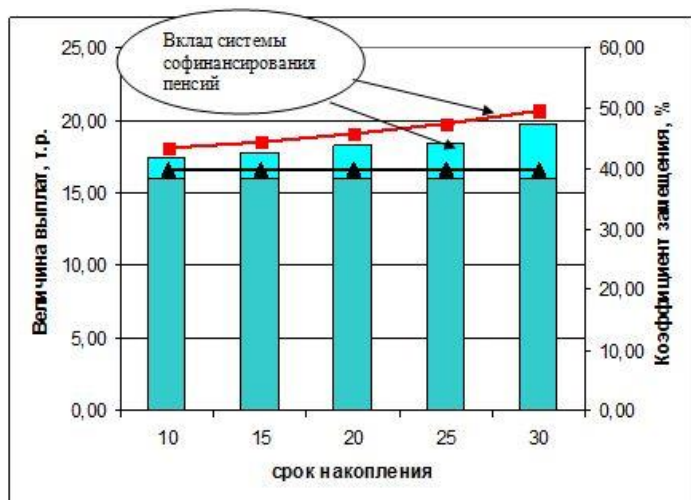


Рис. 5.17. Влияние программы софинансирования на коэффициент замещения и пенсионные выплаты: серый цвет столбчатой диаграммы – пенсионные выплаты по обязательному пенсионному страхованию [70]; светлосерый цвет столбчатой диаграммы – выплаты по программе софинансирования (расчеты авторов); нижняя линия – размер коэффициента замещения по обязательному пенсионному страхованию [70]; верхняя линия – размер коэффициента замещения по обязательному пенсионному страхованию и по программе софинансирования (расчеты авторов)

Как мы уже отмечали ранее, одним из направлений воздействия институциональных рисков являются результаты инвестирования в результате воздействия таких факторов, как качество регулирования и качество управления инвестиционной деятельностью пенсионных фондов и управляющих компаний. Воздействие факторов заключается в ограничении перечня инвестиционных инструментов приводит к снижению инвестиционной доходности и мониторинге выполнения установленных требований.

Воздействие институциональных рисков проанализируем через сопоставление фактических результатов инвестирования пенсионных институтов, находящихся под воздействием законодательного регулирования, с результатами инвестирования смоделированного портфеля при аналогичном уровне риска.

Величина реальной (за минусом инфляции) инвестиционной доходности от управления накопительной частью пенсии в России за период с 2004 до 2011 г. составила 0,03 % (см. рис. 5.12). Отметим, что это минимальный показатель из рассмотренных 14 стран. Страны OECD в среднем за этот период показали результаты в 5,31 %. Отрицательная инвестиционная доходность при управлении накопительной частью пенсии означает снижение реальной покупательной способности и рыночной стоимости произведенных взносов. Причинами этого являются:

- инвестиционные риски, обусловленные колебаниями цен инструментов, из которых составлены инвестиционных портфель;
- институциональные риски, связанные с регулированием инвестиционной деятельности пенсионных институтов.

Остановимся на воздействии институциональных рисков на инвестирование пенсионных накоплений. Как можно увидеть на рис. 5.12, для России характерны самые низкие из рассмотренных риски инвестиционного портфеля при самой низкой инвестиционной доходности, вызвавшей снижение реальной рыночной стоимости накоплений. При этом для российского фондового рынка (см. табл. 5.4) характерны обратные тенденции: российские рынки ММВБ и РТС в период с 2004 по 2012 г. характеризовались максимальными рисками при одном из самых высоких уровней инвестиционной доходности. Таким образом, при управлении пенсионной системой РФ речь идет о «перерегулировании» со стороны государства, вызвавшем минимизацию рисков в ущерб инвестиционной доходности, то есть о негативном влиянии институциональных рисков.



Величину воздействия институциональных рисков на результаты инвестирования средств пенсионных накоплений оценим через величину инвестиционной доходности при одинаковом уровне риска.

Выше мы рассмотрели влияние снятия географические и инструментальных ограничений, то есть по сути снижении институциональных рисков, на доходность инвестирования пенсионных накоплений. При этом мы исходили из ограничения риска на уровне среднего по странам OECD доказали возможность увеличения инвестиционной доходности. Мы доказали, что при формировании инвестиционных портфелей только при отмене инструментальных ограничений и лимитировании рисков на уровне средних по OECD инвестиционная доходность увеличится до 1,8 %, что приведет к увеличению основных показателей накопительной пенсионной системы пенсионных выплат и коэффициента замещения в 1,3 раза (при сроке накопления 30 лет). При отмене ограничений и инструментального, и географического инвестиционная доходность составит уже 10,7 %, а рост пенсионных выплат и коэффициента замещения при 30-летнем периоде накопления в накопительной пенсионной системе составит 3,54 раза. Воздействие институциональных рисков, связанных с установлением ограничительных правил регулятором, на основные показатели пенсионной системы существенны.

Мы пришли к выводу, что регулятор в своем стремлении снизить риски «перерегулировать» пенсионный рынок, добившись значительного снижения инвестиционных рисков по сравнению со средним по OECD. В рамках данной главы мы для дополнительной проверки отрицательного влияния институциональных рисков на результаты регулирования выдвинули гипотезу о возможности увеличения инвестиционной доходности при замене инструментальных и географических ограничений на регулирование уровня рисков. При этом в качестве максимально допустимого уровня риска мы задали достигнутый на сегодняшний день 0,0018. Моделирование проводилось с использованием надстройки к Excel «Solver» («Поиск решений») по данным с 2007 по 2014 г. по теории Марковица (см. формулу (5.47)) по двум вариантам:

– мировых индексов DJIA (США), S&P 500 (США), NASDAQ Composite (США), FTSE 100 (Великобритания), DAX (Германия), CAC 40 (Франция), Nikkei 225 (Япония), SSE Composite – (Китай), Ibovespa – (Бразилия), BSE Sensex (Индия), KOSPI (Korea Composite Stock Price Index) – (Южная Корея), Hang Seng (Китай), Индекс РТС (Россия), Индекс ММВБ (Россия) [44];

– из субиндексов облигаций и акций Индекса пенсионных накоплений ММВБ и средней депозитной ставки [43].

Характеристики смоделированных портфелей приведены в табл. 5.8

Таблица 5.8

**Альтернативные инвестиционные портфели для управления накопительной частью пенсии с уровнем риска, не превышающем фактически достигнутого в России (0,018)**

Показатель	Средний инвестиционный портфель российских частных управляющих компаний в период с 25.12.2007 по 1.01.2013	Инвестиционный портфель, смоделированного по теории Марковица	
		Мировых индексов	из субиндексов облигаций и акций Индекса пенсионных накоплений ММВБ и средней депозитной ставки
Реальная доходность портфеля (за минусом инфляции), доли	-0,048	0,00019	0,0016388023
Риск портфеля, доли	0,0018	0,0176	0,003180297

Как показано в таблице, при равных и даже меньших рисках смоделированные портфели демонстрируют реальную инвестиционную доходность, превышающую российскую. Доходность портфеля из субиндексов облигаций и акций ММВБ, индекса пенсионных накоплений ММВБ и депозитов составила 0,16 %. Доходность портфеля из мировых индексов составила 0,019 %. Смоделированные портфели показали положительную реальную инвестиционную доходность. Отметим, что рост инвестиционной доходности был получен за счет изменения регулятивных ограничений инструментальных и географических, то есть за счет снижения институциональных рисков. Влияние институциональных рисков на инвестиционную доходность и основные показатели накопительной пенсионной системы с учетом разных периодов накоплений для гражданина со средним уровнем дохода представлено в табл. 5.9.

Как показано в таблице, основные показатели пенсионной системы, сформированные за счет инвестиционных портфелей российских компаний, находящихся под действующим регулятивным влиянием, то есть российских институциональных рисков, стали наихудшими из рассмотренных. Российские компании, находясь под действующим регуляторным воздействием, смогут обеспечить уровень выплат из накопительной пенсионной системе при 30-летнем периоде накоплений в 2,6 тыс. руб. и коэффициенте замещения в 5,08 %. Портфель, составленный из мировых индексов, продемонстрирует при выплатах 2,82 тыс. руб. коэффициент замещения 9,5 %, из российских инструментов при выплатах 3,12 тыс. руб. коэффициент замещения 9,7 %

Отметим, что при моделировании портфелей максимальный уровень рисков закладывался на уровне достигнутого в российской пенсионной системе 0,0018, определенного нами выше. На наш взгляд, такой уровень риска является чрезмерно низким, негативно влияющим на уровень инвестиционной доходности. Повышение допустимого уровня рисков до величины средней по OECD приведет к росту инвестиционной доходности до 1,8 %, что вызовет увеличение пенсионных выплат и коэффициента замещения в 2,54 раза соответственно до 6,7 тыс. руб. и 12,4 %. (см. (5.53)). Графически влияние институциональных рисков на инвестиционную доходность и, соответственно, на основные показатели накопительной пенсионной системы представлены на рис. 5.18. Разница в основных показателях обусловлена, на наш взгляд, неэффективным регулированием пенсионного рынка, то есть институциональными рисками. Воздействие институциональных рисков, если инвестирование проводить при условии неповышения рисков относительно достигнутых в России, на пенсионные выплаты будет изменяться от 186 руб. при периоде накопления 10 лет до 1,4 тыс. руб. при периоде накопления 30 лет, влияние на коэффициент замещения при этом измениться 0,6 до 4,6 % соответственно. Воздействие институциональных рисков на пенсионные выплаты при формировании инвестиционных портфелей с риском на уровне среднего по OECD составит 370 руб. при периоде накопления 10 лет и 4,6 тыс. руб. при периоде накопления 30 лет. Значение институциональных рисков для коэффициента замещения изменяется от 1,3 % при периоде накопления в 10 лет до 7,3 % при периоде накопления в 30 лет.

Как видим, воздействие институциональных рисков на основные показатели накопительных пенсионных систем через регуляторное влияние на инвестиционную доходность весьма существенно. Однако воздействие институциональных рисков не ограничивается только влиянием на доходность инвестирования пенсионных накоплений.

Институциональные риски воздействуют также на распределительную пенсионную систему через нецелевые затраты, связанные с финансированием управленческих затрат и выплат досрочных пенсий и пенсий отдельным категориям граждан, финансируемых из страховых взносов, направляемых в ПФР, но не соответствующих страховым принципам.

Под нецелевыми затратами мы при этом понимаем расходы пенсионных фондов – администраторов средств по обязательному пенсионному страхованию не относящихся к выполнению прямых функций по финансированию пенсионных выплат. К таким мы, в частности, относим расходы, связанные с обегосударственными вопросами; расходы на образование, расходы на руководство и управление в сфере установленных функций; непрограмные инвестиции в основные фонды; расходы на прикладные научные исследования. Доля нецелевых затрат в общих расходах (активах) пенсионных фондах сравнивалась с аналогичными показателями стран OECD.

Организация работы Пенсионного фонда России является самой дорогой среди рассмотренных стран OECD. Нецелевые расходы ПФ РФ в размере 2,08 % от суммарных расходов (по состоянию на 2009 г.) превышает в 13,5 раз аналогичный показатель для стран OECD в среднем. «Ближайшим соседом» по показателю нецелевых расходов среди рассмотренных стран является Новая Зеландия (0,57 % от общих расходов (активов) фонда по состоянию на 2009 г.), которой удалось снизить этот показатель с 2007 по 2009 г. в 1,83 раза. Минимальная доля нецелевых расходов в 2009 г. была у Бельгии – 0,0015 %. За рассмотренный период страны OECD в среднем снизили долю нецелевых расходов на 17 %, Россия – на 18,5 %. Однако с такой динамикой показателя российский Пенсионный фонд приблизится к странам OECD очень нескоро. Столь высокая доля нецелевых расходов характеризует ПФ РФ на фоне аналогичных структур стран OECD как громоздкую неэффективную организацию с высокими институциональными рисками.

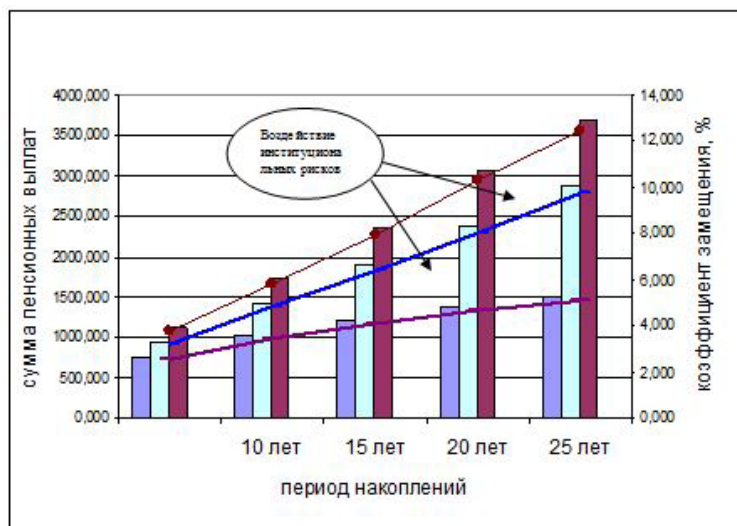


Рис. 5.18. Влияние институциональных рисков через инвестиционную доходность на пенсионные выплаты и коэффициент замещения накопительной пенсионной системы: серый столбцовый график – пенсионные выплаты, сформированные за счет среднего инвестиционного портфеля российских управляющих компаний; светлосерый – пенсионные выплаты, сформированный за счет портфеля из субиндексов облигаций и акций, индекса пенсионных накоплений ММВБ и средней депозитной ставки; темный – пенсионные выплаты, сформированный из мировых индексов при уровне риска равного среднему по OECD

Доведение доли нецелевых затрат ПФ РФ до уровня среднего по странам OECD позволит высвободить 1,93 % расходов (2,08 % в ПФ РФ – 0,15 % для стран OECD в среднем = 1,93 %), что позволит увеличить пенсионные выплаты и коэффициент замещения. Возможности увеличения пенсионных выплат можно рассчитать:

$$PV = \frac{(1-n) * Sp}{N}, \quad (5.69)$$

где  $n$  – доля нецелевых затрат;

$Sp$  – сумма расходов администраторов по обязательному пенсионному страхованию;

$N$  – количество пенсионеров, получателей выплат по обязательному пенсионному страхованию.

С учетом формулы (5.69) и доли нецелевых затрат в РФ и OECD, приведенной в табл. 5.9 получаем величину пенсионных выплат при уровне нецелевых расходов для РФ в 2,08 % (по состоянию на 2009 г.) и при уровне нецелевых расходов для OECD в 0,015 % (по состоянию на 2009 г.)

$$PV_{\text{рф}} = \frac{0,9792 * Sp}{N}, \quad (5.70)$$

где  $PV_{\text{рф}}$  – величина пенсионных выплат при уровне нецелевых расходов для РФ в 2,08 % (по состоянию на 2009 г.).

$$PV_{\text{OECD}} = \frac{0,9985 * Sp}{N}, \quad (5.71)$$

где  $PV_{\text{oecd}}$  – величина пенсионных выплат при уровне нецелевых расходов для OECD в 0,015 % (по состоянию на 2009 г.).

Таблица 5.9

**Нецелевые затраты пенсионных фондов – администраторов средств по обязательному пенсионному страхованию**

Страна	Общие расходы на администрирование пенсионных фондов (в процентах от общих расходов (активов под управлением))		
	2007 г.	2008 г.	2009 г.
Австралия*	0,03	0,07	0,18
Бельгия*	0,0015	0,0015	0,0015
Канада*	0,13	0,17	0,19
Франция*	0,1704	0,1887	0,1564
Мексика*	0,0391297	0,0320698	0,032327
Новая Зеландия*	1,0385904	0,644759	0,5659461
Норвегия*	0,047	0,086	0,087
Польша*	0,04	0,01	0,02
Португалия*	0,057	0,059	0,062
США*	0,2457002	0,2356638	0,2440657
OECD в среднем*	0,179932	0,1497693	0,1539239
Россия**	2,4680754	0,1888821	2,0817989

Примечание:

\* Источник данных – OECD (2011), «Public pension reserve funds' assets», OECD Pensions Statistics (database).

**\*\* Источник данных по России** Федеральный закон от 19.12.2006 № 236-ФЗ (ред. от 23.11.2007) «О бюджете Пенсионного фонда Российской Федерации на 2007 год»; Федеральный закон от 21.07.2007 № 182-ФЗ (ред. от 22.07.2008) «О бюджете Пенсионного фонда Российской Федерации на 2008 год и на плановый период 2009 и 2010 годов»; Федеральный закон от 25.11.2008 № 214-ФЗ (ред. от 25.11.2009) «О бюджете Пенсионного фонда Российской Федерации на 2009 год и на плановый период 2010 и 2011 годов».

Возможность увеличения пенсионных выплат в РФ за счет снижения доли нецелевых затрат в РФ до уровня среднего по странам OECD, исходя из определения пенсионных выплат по формулам (5.68) и (5.69), можно рассчитать следующим образом:

$$\Delta PV = \frac{PV_{OECD}}{PV_{РФ}} = \frac{0,9985 * Sp}{N} \times \frac{N}{0,9792 * Sp} = \frac{0,9985}{0,9792} = 1,01971. \quad (5.72)$$

Изменение коэффициента замещения, характеризующего соотношение пенсионных выплат и средней заработной платы, за счет снижения доли нецелевых затрат в РФ до уровня среднего по странам OECD

$$\Delta PZ = \frac{PV_{OECD}}{Zpl} \times \frac{Zpl}{PV_{РФ}} = \frac{0,9985 * Sp}{N} \times \frac{N}{0,9792 * Sp} = \frac{0,9985}{0,9792} = 1,01971. \quad (5.73)$$

где  $PZ$  – коэффициент замещения пенсий для РФ;

$Zpl$  – средняя заработная плата для РФ.

Как показывает формулы (5.70) и (5.71), пенсионные выплаты и коэффициент замещения за счет снижения нецелевых расходов Пенсионного фонда РФ до уровня среднего по странам OECD могут быть увеличены на 1,97 %.

Другим причиной «нецелевых» для Пенсионного фонда РФ являются так называемые «досрочные» пенсии – пенсии, назначаемые за работу в тяжелых и особых условиях труда лицам, работавшим по специальностям, перечисленным в списке 1 и 2, «полярные» и «северные» пенсии.

Влияние «нецелевых» расходов для Пенсионного фонда РФ на финансирование «досрочных» пенсий можно проследить через воздействие их на коэффициент замещения и пенсионные выплаты в рамках распределительной системы, которые были раскрыты нами в формулах (5.3): При анализе показателей пенсионной системы в настоящее время темпы будущей индексации заработной платы  $r$  равны 0. Кроме того, представим общее число получателей пенсий  $n$  как сумму получателей «досрочных»

пенсий  $n_2$  и получателей пенсий по общим основаниям  $n_1$ . Таким образом, пенсионные выплаты в соответствии с (5.3) может быть представлены в виде:

$$PV = \frac{Zpl^i * s * k}{(n_1 + n_2)}, \quad (5.74)$$

где  $n_2$  – количество получателей «досрочных» пенсий;

$n_1$  – количество получателей пенсий по общим основаниям.

Коэффициент замещения характеризует соотношение пенсионных выплат и заработной платы для определения влияния досрочных пенсий определим коэффициент замещения с учетом досрочных пенсий ( $PZ_{общ}$ ) и без них ( $PZ_{бездоср}$ ).

Для определения воздействия досрочных пенсий найдем соотношение коэффициентов замещения с учетом досрочных пенсий и без них:

$$\frac{PZ_{бездоср}}{PZ_{общ}} = \frac{n_1 + n_2}{n_2} = \frac{n}{n_1}. \quad (5.75)$$

Разделив числитель и знаменатель в (5.75) на общее количество пенсионеров, получим:

$$\frac{PZ_{бездоср}}{PZ_{общ}} = \frac{1}{N_1}, \quad (5.76)$$

где  $N_1$  – доля пенсионеров (от общего числа), получающих пенсию по общим основаниям.

В соответствии с аналитическим докладом Министерства труда и социального развития, численность получателей досрочных пенсий в 2010 г. достигла 34 % от числа пенсионеров по старости (10,5 млн чел.) [13]. Таким образом, доля пенсионеров, получающих пенсию по общим основаниям, составляет 0,66 и с учетом (5.76) получаем:

$$\frac{PZ_{бездоср}}{PZ_{общ}} = \frac{1}{N_1} = \frac{1}{0,66} = 1,515. \quad (5.77)$$

Таким образом, коэффициент замещения без учета досрочных пенсий будет превышать имеющийся коэффициент замещения с учетом досрочных



пенсий в 1,515 раза, или на 51,5 %. Однако практически достижение этого невозможно в связи с риском социального взрыва. Однако в перспективе, постепенный переход на финансирование досрочных пенсий из альтернативного источника, не нагружающего бюджет ПФ РФ, вполне целесообразен.

Рост пенсионных выплат из распределительной пенсионной системы и коэффициента замещения на 51,5 % связан, как мы выяснили, с отменой пенсий нестрахового характера, или с изменениями регулирования пенсионной системы. Таким образом, речь идет о сокращении институциональных рисков пенсионной системы и значительных резервов повышения основных показателей за счет этого.

## **§2. Моделирование оптимальной социально-экономической пенсионной системы в условиях турбулентности внешней и внутренней среды**

В предыдущем параграфе мы рассматривали воздействие демографических, инвестиционных и институциональных рисков на основные показатели пенсионных систем. Нами были предложены модели определения воздействия этих рисков на распределительные и накопительные пенсионные системы, доказана значительная роль этих рисков для устойчивости систем. В тоже время созданные нами модели позволяли исследовать воздействие каждого из этих рисков по отдельности. Вместе с тем мы отмечали, что пенсионные системы находятся под воздействием этих рисков одновременно, и, кроме того, это воздействие изменяющееся. Таким образом, пенсионные системы существуют в изменяющейся динамической среде под воздействием одновременно всех рассмотренных рисков.

В этом параграфе исследуется одновременное динамическое воздействие всех основных рисков, среди которых демографические, инвестиционные и институциональные риски на пенсионные системы. Для определения влияния всех рисков мы разработали комплексную модель, учитывающую при определении основных целевых показателей, таких как пенсионные выплаты и коэффициент замещения воздействие демографических, инвестиционных и институциональных рисков. Для учета динамического воздействия рассматриваемых факторов мы закладываем в модель факторы, которые могут принимать значение в определенных диапазонах, отвечающие закону Гауссовского распределения. Таким об-

разом мы при моделировании пенсионной системы принимаем не стационарные факторы, а динамические, с учетом вероятности принятия определенных значений в заданных диапазонах.

При создания комплексной модели мы опираемся на модели, разработанные и представленные в параграфе 1. Объединим модели, отражающие воздействие демографических, инвестиционных и институциональных рисков на накопительную и распределительную пенсионную системы. Как мы уже определили в предыдущих главах, на пенсионные выплаты и коэффициент замещения пенсионных систем воздействуют следующие риски:

- демографические риски через  $lv$ -период пенсионных выплат, равный разнице продолжительности жизни ( $z$ ) и возрасту выхода на пенсию ( $w$ ), период накопления пенсионных накоплений, количество работоспособного населения и пенсионеров;

- инвестиционные риски через ставку инвестиционного дохода (в долях), получаемого от инвестирования пенсионных накоплений;

- институциональные риски через долю участвующего в добровольных накопительных программах населения и долю затрат на финансирование льготных пенсий в общем объеме расходов государственного пенсионного фонда.

Основной целью определения совокупного воздействия всех перечисленных факторов является последующее моделирование пенсионной системы с определением таких оптимальных значений влияющих параметров, чтобы иметь возможность достижения максимально возможных значений целевых функций пенсионных систем – пенсионных выплат и коэффициента замещения.

Сложность в определении параметров пенсионной системы заключается в необходимости совокупного воздействия всех основных рисков, влияющих на систему. Выше мы рассматривали воздействие этих рисков по отдельности. Мы обсуждали воздействие рисков на пенсионную систему, рассматривая ее как систему, которая характеризуется стабильной структурой рисков, их хорошей прогнозируемостью и отсутствием и/или малой величиной политических рисков. По мнению Лившица, такие системы можно отнести к стационарным [72]. В тоже время мы выявили, что для пенсионной системы институциональные риски являются существенным фактором, влияющим на основные показатели пенсионной

системы. Институциональные факторы, как мы также выявили, являются часть политических рисков, и, таким образом, пенсионная система подвержена постоянному влиянию меняющихся политических рисков. Кроме того, характеристики демографических и инвестиционных рисков (их воздействие мы раскрывали в предыдущих главах) изменяются во времени. У инвестиционных рисков это связано еще с рисками фондовых рынков, что влечет за собой плохую прогнозируемость. По мнению Самуэлсона, системы, характеристики которых непостоянны, являются нестационарными [73]. Подобную трактовку дает Лившиц [72]. Заде и Дезоер, представители технических наук, придерживаются этой же точки зрения: «если характеристики системы изменяются во времени она нестационарна» [74].

Таким образом, при определении параметров пенсионной системы и учете совокупного воздействия основных рисков мы будем рассматривать пенсионную систему как нестационарную, находящуюся под воздействием динамических рисков, таких как демографические, инвестиционные и институциональные.

Под основными показателями пенсионной системы мы понимаем пенсионные выплаты и коэффициент замещения. В качестве параметров пенсионной системы мы рассматриваем влияющие параметры, изменение которых позволит максимизировать функцию – основные показатели пенсионной системы. Влияющие параметры имеют динамический характер, по причине которого пенсионная система приобретает свойство нестационарной. Под влияющими параметрами мы понимали факторы, воздействие которых мы уже доказали выше, среди которых демографические, инвестиционные и институциональные факторы.

При анализе воздействия рисков мы разделяем пенсионные выплаты на выплаты из накопительных ( $PV_{\text{нчп}}$ ) и распределительных ( $PV_{\text{рчп}}$ ) систем:

$$PV = PV_{\text{нчп}} + PV_{\text{рчп}} \quad (5.78)$$

Для определения воздействия демографических, инвестиционных и институциональных рисков на пенсионные выплаты используем формулу (5.3), демонтирующую воздействие демографических рисков на пенсионные выплаты из распределительных систем, (5.28), отражающую воздействие инвестиционных рисков на выплаты из накопительной пен-

сионной системы, и (5.56), определяющую влияние институциональных рисков на пенсионные выплаты из накопительной и распределительной частей пенсии. Подставляя формулы (5.3), (5.28) и (5.56) в формулу (5.78), получаем:

$$\frac{PV_j}{PV_i} = \frac{\sum_{q=1}^{t_{n_j}} (1 + \alpha_j)^q}{t_{v_j}} * \frac{t_{v_i}}{\sum_{q=1}^{t_{n_i}} (1 + \alpha_i)^q} * d_{cp} + \frac{K_i}{K_j} * \frac{n_j}{n_i} * (1 - d_{uz} - d_{lp}). \quad (5.79)$$

Отсюда получаем выражение для будущих пенсионных выплат:

$$\frac{PV_j}{PV_i} = PV_{нчп_i} \frac{\sum_{q=1}^{t_{n_j}} (1 + \alpha_j)^q}{t_{v_j}} * \frac{t_{v_i}}{\sum_{q=1}^{t_{n_i}} (1 + \alpha_i)^q} * d_{cp} + PV_{рчп_i} \frac{K_i}{K_j} * \frac{n_j}{n_i} * (1 - d_{uz} - d_{lp}), \quad (5.80)$$

где  $PV_{нчп}$  и  $PV_{распр}$  – пенсионные выплаты из накопительной и распределительной (соответственно) пенсионных систем;

$tn$  – период накопления пенсионных накоплений;

$\alpha$  – ставка инвестиционного дохода (в долях), получаемого от инвестирования пенсионных накоплений;

$tv$  – период пенсионных выплат, равный разнице продолжительности жизни ( $z$ ) и возрасту выхода на пенсию ( $w$ );

$d_{cp}$  – средняя доля участвующего в добровольных накопительных программах населения;

$d_{uz}$  – доля управленческих затрат в общем объеме расходов государственного пенсионного фонда;

$d_{lp}$  – доля затрат на финансирование льготных пенсий в общем объеме расходов государственного пенсионного фонда;

$K_i, K_j$  – количество работоспособного населения в году  $i$  и  $j$  соответственно;

$n_i, n_j$  – количество пенсионеров в году  $i$  и  $j$  соответственно.

Выразим пенсионные выплаты из накопительной и распределительной пенсионной системы через общие пенсионные выплаты с учетом

## §2. Моделирование оптимальной пенсионной системы

веса накопительной и распределительной части пенсии, которую они занимают в пенсионных взносах, соответственно  $PV_{\text{нпч}} = PV * \text{Bec}_{\text{нпч}}$  и  $PV_{\text{рпч}} = PV * \text{Bec}_{\text{рпч}} = (1 - \text{Bec}_{\text{нпч}}) * PV$ . Тогда получаем:

$$\frac{PV_j}{PV_i} = \text{Bec}_{\text{нпч}} * \frac{\sum_{q=1}^{t_{n_j}} (1 + \alpha_j)^q}{t_{v_j}} * \frac{t_{v_i}}{\sum_{q=1}^{t_{n_i}} (1 + \alpha_i)^q} * d_{cp} + (1 - \text{Bec}_{\text{нпч}}) * \frac{K_i}{K_j} * \frac{n_j}{n_i} * (1 - d_{uz} - d_{lp}). \quad (5.81)$$

Из формулы (5.81) получаем выражения для прогнозирования пенсионных выплат в будущем году  $j$  ( $PV_j$ ) на основании имеющихся пенсионных выплат в настоящем ( $PV_i$ ) и воздействия демографических, инвестиционных и институциональных рисков:

$$PV_j = PV_i * \text{Bec}_{\text{нпч}} * \frac{\sum_{q=1}^{t_{n_j}} (1 + \alpha_j)^q}{t_{v_j}} * \frac{t_{v_i}}{\sum_{q=1}^{t_{n_i}} (1 + \alpha_i)^q} * d_{cp} + PV_i * (1 - \text{Bec}_{\text{нпч}}) * \frac{K_i}{K_j} * \frac{n_j}{n_i} * (1 - d_{uz} - d_{lp}). \quad (5.82)$$

На основании формулы (5.82) мы можем определить комплексное воздействие на коэффициент замещение пенсий, выплачиваемых из распределительных и накопительных пенсионных систем. Для этого формулу (5.82) подставим в формулу (5.12) и (5.24) и получим:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{PZ_{\text{пнч}i}}{PZ_{\text{пнч}j}} = \frac{K_i}{K_j} * \frac{n_j}{n_i} \\ \frac{PZ_{\text{рпч}i}}{PZ_{\text{рпч}j}} = \frac{\sum_{q=1}^{t_{n_j}} (1 + \alpha_j)^q}{t_{v_j}} * \frac{t_{v_i}}{\sum_{q=1}^{t_{n_i}} (1 + \alpha_i)^q} \end{array} \right. \Rightarrow \frac{PZ_i}{PZ_j} = \frac{\sum_{q=1}^{t_{n_j}} (1 + \alpha_j)^q}{t_{v_j}} * \frac{t_{v_i}}{\sum_{q=1}^{t_{n_i}} (1 + \alpha_i)^q} + \frac{K_i}{K_j} * \frac{n_j}{n_i} \quad (5.83)$$

где  $PZ_{\text{нпч}i}$  и  $PZ_{\text{нпч}j}$  – коэффициенты замещения пенсий из накопительной пенсионной системы в годы  $i$  и  $j$  соответственно;

$PZ_{\text{рпч}i}$  и  $PZ_{\text{рпч}j}$  – коэффициенты замещения пенсий из распределительной пенсионной системы в годы  $i$  и  $j$ .

Из формулы (5.83) получаем выражения для прогнозирования коэффициента замещения пенсий в будущем году  $j$  ( $PZ_j$ ) на основании имеющего

ся коэффициента замещения в настоящем ( $PZ_i$ ) и воздействия институциональных рисков через долю населения, участвующего в накопительных программах ( $d_{cp}$ ) и нецелевых расходов распределительных пенсионных систем, именно долей расходов распределительных пенсионных систем по финансированию управленческих функций ( $d_{uz}$ ) и долей расходов распределительных пенсионных систем по финансированию нестраховых (льготных) пенсий ( $d_{lp}$ ) расходов:

$$PZ_j = PZ_i * Bес_{нчп} * \frac{\sum_{q=1}^{t_{vj}} (1 + \alpha_j)^q}{t_{vj}} * \frac{t_{vj}}{\sum_{q=1}^{t_{vj}} (1 + \alpha_i)^q} * d_{cp} + PZ_i * (1 - Bес_{нчп}) * \frac{K_i}{K_j} * \frac{n_j}{n_i} * (1 - d_{uz} - d_{lp}), \quad (5.84)$$

где  $d_{cp}$  – доля населения, участвующего в накопительных программах;

$d_{uz}$  – доля расходов распределительных пенсионных систем по финансированию управленческих функций;

$d_{lp}$  – доля расходов распределительных пенсионных систем по финансированию нестраховых (льготных) пенсий.

Формулы (5.82) и (5.84) показывают совокупное воздействие на целевые функции пенсионных систем – пенсионные выплаты и коэффициент замещения:

– демографических рисков через такие параметры, как количество пенсионеров, количество работоспособного населения, накопительный период и период пенсионных выплат;

– инвестиционных рисков через параметр «ставка инвестиционного дохода»;

– институциональных рисков через параметры «доля нецелевых затрат пенсионной системы» и «доля населения, участвующего в накопительной пенсионной системе».

Графически совокупное воздействие рисков на пенсионные системы можно демонстрирует рис. 5.19.

Модель, представленная на рис. 5.19, отражает комплексное воздействие всех основных рисков пенсионных систем. На основе анализа данной модели может быть проведена оптимизация пенсионной системы с нахождение оптимальных параметров, максимизирующих целевые функции.

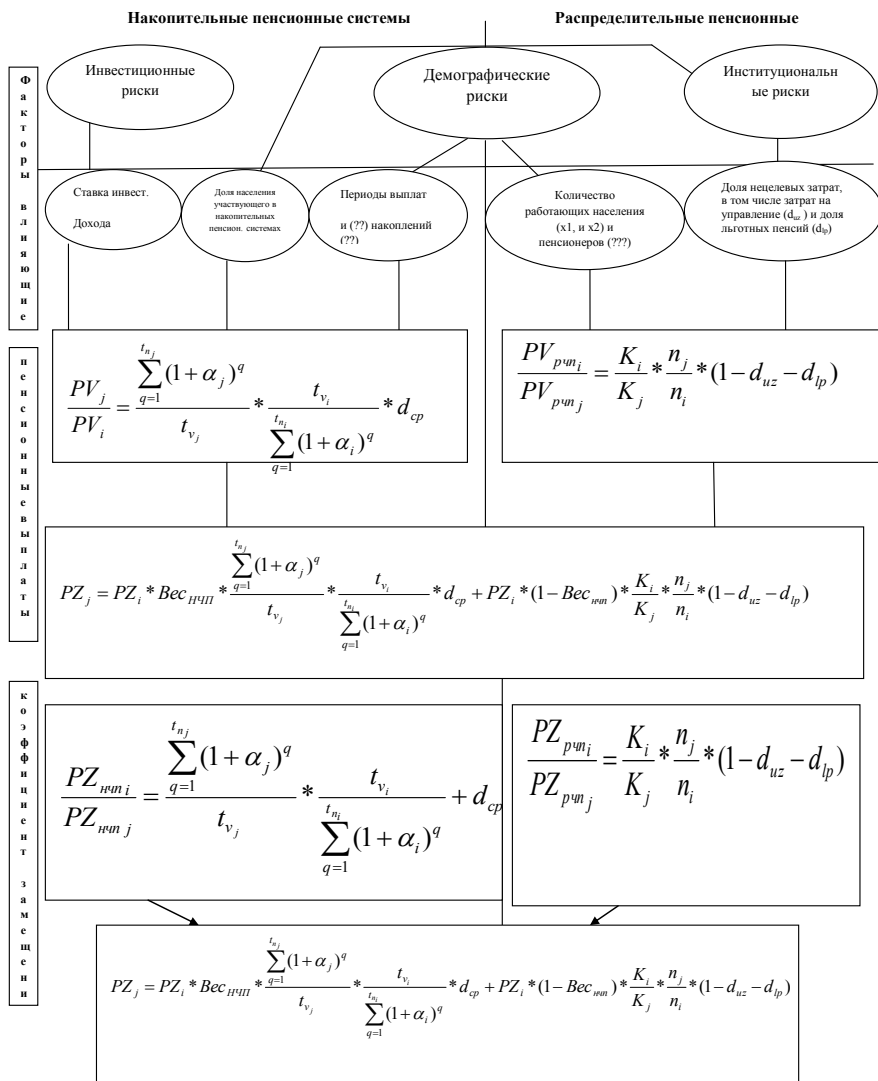


Рис. 5.19. Комплексное воздействие демографически, инвестиционных и институциональных рисков на целевые функции пенсионных систем

### **§3. Многофакторное прогнозирование пенсионных систем в условиях турбулентности внешней и внутренней среды**

При рассмотрении проектирования оптимальных пенсионных систем необходимо прежде всего определиться, что мы понимаем под этим. Мы закладываем в это понятие создание таких институциональных условий, которые бы позволили достичь таких значений демографических, инвестиционных и институциональных воздействующих на пенсионную систему параметров, которые бы позволили максимизировать целевые функции систем, такие как пенсионные выплаты и коэффициент замещения. Такое значение демографических, инвестиционных и институциональных факторов мы называем оптимальным, а сама пенсионная система при этом носит оптимальный характер.

При определении оптимальных параметров пенсионной системы необходимо учитывать положения «Стратегии 2020», в которой содержатся предложения по реформированию пенсионных систем. Слабость стратегии, впрочем как и других программ реформирования пенсионной системы, на наш взгляд, заключается в отсутствии конкретики и измеримых ясных параметров создаваемой пенсионной системы.

Проблема нахождения оптимальных параметров пенсионных систем рассматривается достаточно широко в экономической литературе. В частности, в работе Е. Т. Гурвича в качестве основного критерия социального развития пенсионной системы разбирается коэффициент замещения [75]. Автор показал, что условием поддержания коэффициента замещения в финансово устойчивой пенсионной системе требует увеличения размеров пенсионного трансферта на один процентный пункт ВВП каждые пять лет или ежегодного повышения ставки пенсионных взносов на один процентный пункт. На основе анализа демографических показателей стран ОЭСР и стран формирующихся рынков (в терминах автора) предлагается повышение пенсионного возраста до 62 лет для мужчин и 60 лет для женщин. В качестве обоснования автор приводит среднюю продолжительность периода получения пенсий в изученных странах. В другой работе рассматривается влияние демографических рисков на пенсионную систему и необходимость поддержания ее финансовой устойчивости. рассматривается влияние глобальных демографических тенденций на бюджетные расходы и возможные ответные меры [76]. Оптимальная, по мнению авторов, реакция государства на увеличение продолжительности жизни



состоит в постоянной коррекции пенсионного возраста при сохранении пропорции между длительностью труда и пребывания на пенсии. Такая стратегия обеспечивает стабильность коэффициента замещения и не изменяет баланс отношений между поколениями.

Однако в работах, проанализированных нами, пенсионные системы рассматривались либо стационарно, то есть без учета их постоянного изменения, либо авторы, рассматривая их динамичными, учитывали воздействия одного вида рисков.

Рассматриваемые нами основные параметры пенсионных систем являются динамическими, то есть изменяющимися во времени. Для учета динамического воздействия рассматриваемых факторов мы закладываем в модель параметры, представленные в формулах (5.82) и (5.84), а также на рис. 5.19, среди которых:

- демографические – период пенсионных выплат, равный разнице продолжительности жизни, возраст выхода на пенсию, период накопления пенсионных накоплений, количество работоспособного населения и пенсионеров;

- инвестиционные – ставка инвестиционного дохода (в долях), получаемого от инвестирования пенсионных накоплений;

- институциональные – доля, участвующего в добровольных накопительных программах населения, доля затрат на финансирование льготных пенсий в общем объеме расходов государственного пенсионного фонда.

Учитываемые в модели параметры могут принимать значение в определенных диапазонах, которые будут определяться нами исходя из существующих правовых норм и статистических данных по анализируемым параметрам. Проанализируем далее диапазоны учитываемых параметров.

В качестве демографических параметров нами рассматривается период пенсионных выплат, равный разнице продолжительности жизни и возраста выхода на пенсию, период накопления пенсионных накоплений, количество работоспособного населения и пенсионеров. Период пенсионных накоплений – период, в течение которого осуществляются накопления в накопительных пенсионных системах (обозначение  $t_n$ ). Значение в настоящий момент обозначено  $t_{nj}$ , прогнозный показатель в будущем году обозначен  $t_{ni}$ . Период накопления рассчитывается как разница между возрастом выхода на пенсию (по состоянию на 2012 г. для мужчин 60 лет, для женщин 55 лет [67] и возрастом вступления в трудовую жизнь (принимается на уровне 2012 г. 24,4 (см. §1). Таким образом, период пенсион-

ных накоплений в настоящее время составляет 35,6 (для мужчин – 30,6 (для женщин)); период пенсионных накоплений в будущем составляет  $w-22,4$  (напомним,  $w$  – возраст выхода на пенсию. При решении нами задачи по подбору параметров пенсионной системы, при которой достигаются максимум пенсионных выплат и коэффициент замещения, период пенсионных накоплений в настоящее время для мужчин составляет 35,6 лет, для женщин – 30,6 лет; в 2030 г. период пенсионных накоплений составляет  $w-22,4$ . Таким образом:

$$\begin{aligned}
 &\text{для \_мужчин :} \\
 &t_{vj} = 35,6 \\
 &t_{vi} = w - 22,4; \\
 &\text{для \_женщин :} \\
 &t_{vj} = 30,6 \\
 &t_{vi} = w - 22,4.
 \end{aligned} \tag{5.85}$$

Период пенсионных выплат – период, в течение которого осуществляются выплаты накопительной части (обозначение  $t_v$ ). Значение в настоящий момент обозначено  $t_{vj}$ , прогнозный показатель в будущем –  $t_{vi}$ . Период выплат рассчитывается как разница между продолжительностью жизни и возрастом выхода на пенсию. В настоящее время продолжительность жизни для мужчин составляет 63,8, для женщин – 75,5; в будущем (на 2030 г.) для мужчин по низкому варианту прогноза – 64,4, по высокому – 73,3; для женщин по низкому варианту прогноза – 75,7, по высокому варианту – 82,1 [12]. Таким образом, период выплат в настоящее время составляет для мужчин 3,8, для женщин – 20,5 лет. Период выплат в будущем для мужчин по низкому варианту прогноза  $64,4 - w$ , по высокому варианту прогноза  $73,3 - w$ . Период выплат в будущем для женщин по низкому варианту прогноза  $75,7 - w$ , по высокому варианту прогноза  $82,1 - w$ . При решении нами задачи по подбору параметров пенсионной системы, при которой достигаются максимум пенсионных выплат и коэффициента замещения, период пенсионных выплат в настоящее время для мужчин составляет 3,8 лет, для женщин – 20,5 лет; в 2030 г. период пенсионных выплат для мужчин может принимать любые значения в промежутке от 64,4 ми-

нус  $w$  до 73,3 минус  $w$ ; для женщин – от 73,3 минус  $w$  до 82,1 минус  $w$ . Таким образом:

$$\begin{aligned}
 & \text{для \_мужчин :} \\
 & t_{vj} = 3,8 \\
 & t_{vi} \in [64,4 - w; 73,3 - w]; \\
 & \text{для \_женщин :} \\
 & t_{vj} = 20,5 \\
 & t_{vi} \in [73,3 - w; 82,1 - w].
 \end{aligned}
 \tag{5.86}$$

Количество работоспособного населения – население, способное платить страховые взносы в пенсионную систему (обозначение  $K$ ). Значение в настоящий момент обозначено  $K_j$ , прогнозный показатель в будущем обозначен  $K_i$ . В настоящее время количество работоспособного населения составляет 86 млн человек [12]. Количество работоспособного населения на 2030 г. по низкому прогнозу Госкомстата РФ составляет 73 млн человек, по высокому прогнозу – 80 млн человек [12]. При решении нами задачи по подбору параметров пенсионной системы, при которой достигаются максимум пенсионных выплат и коэффициента замещения, количество работоспособного населения в настоящее время составляет 86 млн человек, в 2030 г. может принимать любые значения в промежутке от 73 до 80 млн человек. Таким образом:

$$\begin{aligned}
 k_j &= 86 \\
 k_i &\in [73; 80].
 \end{aligned}
 \tag{5.87}$$

Количество пенсионеров – количество получателей страховых пенсий (обозначение  $n$ ). Значение в настоящий момент обозначено  $n_j$ , прогнозный показатель в будущем обозначен  $n_i$ . В настоящее время количество пенсионеров составляет 32 млн человек [12]. Количество пенсионеров на 2030 г. по низкому прогнозу Госкомстата РФ составляет 36 млн человек, по высокому прогнозу – 41 млн человек [12]. При решении задачи по подбору параметров пенсионной системы, при которой достигаются максимум пенсионных выплат и коэффициента замещения, количество пенсионеров в настоящее время составляет 32 млн человек, в 2030 г. может

принимать любые значения в промежутке от 36 до 41 млн чел. Таким образом:

$$\begin{aligned} n_j &= 32 \\ n_i &\in [36; 41]. \end{aligned} \quad (5.88)$$

Доля нецелевых расходов ПФР – показатель, характеризующий институциональные риски, а именно нецелевые затраты, связанные с институциональной системой регулирования пенсионного фонда. Складываются из: 1) доли управленческих затрат (обозначение  $d_{из}$ ), определяемой как отношение управленческих расходов к сумме расходов ПФР РФ; 2) доли льготных нестраховых пенсий, определяемой как отношение суммы льготных пенсий (все пенсии, кроме страховых, накопительных и базовых) к сумме расходов ПФР РФ. Расчет производился на основании ФЗ «О бюджете Пенсионного фонда РФ» [77–91]. Так, например, доля нецелевых затрат в бюджете Пенсионного фонда РФ за 2012 г. составила 0,0247.

Инвестиционная доходность – доходность, получаемая при инвестировании накопительной части пенсии (обозначена  $a$ ), Доходность в настоящее время ( $a_j$ ) определяется как средняя доходность среди всех управляющих компаний за период с 2004 по 2012 г. и составила – 0,004, или –0,4 % годовых. Таким образом:

$$a_j = -0,004. \quad (5.89)$$

Коэффициент замещения – коэффициент замещения пенсии, характеризующий соотношение пенсий из распределительной и накопительной систем к средней заработной плате (обозначен  $PZ$ ). В настоящее время ( $PZ_j$ ) составил по данным Пенсионного фонда РФ [41] составил 0,34. Коэффициент замещения в будущем (по состоянию на 2030 г.) выступает функцией в формуле (5.84), относительно которой нами решается задача по максимизации коэффициента замещения в будущем ( $PZ_j$ ) и нахождении параметров пенсионной системы.

В расчет параметров входят переменные, которые государство может за счет институционального регулирования изменить. Отметим, именно эти переменные мы понимали в качестве параметров пенсионной системы, изменяя которые можно добиться максимизации основных величин – пен-

сионных выплат и коэффициента замещения. К таким переменным мы относим:

- возраст выхода на пенсию, инвестиционная;
- доходность инвестирования пенсионных накоплений в будущем;
- вес накопительной части пенсии;
- средняя доля граждан, участвующих в накопительной пенсионной системе.

Возраст выхода на пенсию – возраст, при наступлении которого у застрахованного лица назначается трудовая пенсия, имеющая страховой характер (обозначен  $w$ ). В настоящее время возраст выхода на пенсию при назначении трудовой пенсии составил 60 лет для мужчин и 55 лет для женщин. В будущем (прогноз на 2030 г.) возраст выхода на пенсию при решении нами задачи по подбору параметров пенсионной системы, при которой достигаются максимум пенсионных выплат и коэффициента замещения, может принимать у мужчин любые значения в промежутке от 60 лет (возраст выхода на пенсию на 2012 г.) до 64,4 лет (прогноз продолжительности жизни мужчин на 2030 г. по низкому прогнозу ГКС). При высоком прогнозе продолжительность жизни мужчин на 2030 г. составит 73,3 г. У женщин прогноз продолжительности жизни на 2030 г. может принимать любые значения в промежутке от 55 лет (возраст выхода на пенсию на 2012 г.) до 75,7 лет (прогноз продолжительности жизни женщин на 2030 г. по низкому прогнозу ГКС РФ). При высоком прогнозе продолжительность жизни женщин на 2030 г. составит 82,1 года. Таким образом:

для \_мужчин\_(низкий\_прогноз\_ГКС\_РФ)

$$w \in [60; 64,4]$$

для \_мужчин\_(высокий\_прогноз\_ГКС\_РФ)

$$w \in [60; 73,3]$$

для \_женщин\_(низкий\_прогноз\_ГКС\_РФ)

$$w \in [55; 75,7]$$

для \_женщин\_(высокий\_прогноз\_ГКС\_РФ)

$$w \in [55; 82,1]$$

(5.90)

(64)

Инвестиционная доходность в будущем – прогноз на 2030 г. доходности от управления накопительной частью пенсии (обозначено  $a_i$ ). При определении инвестиционной доходности в будущем (прогноз на 2030 г.) мы используем результаты смоделированного нами инвестиционного портфеля, который при устранении институциональных барьеров продемонстрировал инвестиционную доходность в размере 10,7 %. При моделировании мы принимаем уровень инфляции на долгосрочный период в размере 5,56 %. Таким образом, реальная доходность инвестиционного портфеля нами закладывается в размере 5,14 %. При решении задачи по подбору параметров пенсионной системы, при которой достигаются максимум пенсионных выплат и коэффициента замещения, инвестиционная доходность в 2030 г. может принимать любые значения в промежутке от  $-0,004$  до  $0,0514$ . Таким образом:

$$a_i \in [-0,004; 0,0514] .$$

Вес накопительной части пенсии – это доля накопительной части пенсии в страховых взносах, уплачиваемых страхователями в Пенсионный фонд РФ по обязательному пенсионному страхованию ( $Bec_{нчп}$ ). При решении нами задачи по подбору параметров пенсионной системы, при которой достигаются максимум пенсионных выплат и коэффициента замещения, вес накопительной части может принимать любые значение в диапазоне от 0 (взносы по накопительной пенсии не уплачиваются) до 1 (распределительной части пенсии не существует), а взносы уплачиваются 100 % в накопительную систему. Таким образом:

$$Bec_{нчп} \in [0; 1] .$$

Средняя доля граждан, участвующих в накопительной пенсионной системе, – доля граждан, на которых распространяет действие накопительная пенсионная система (обозначено  $d_{cp}$ ). При решении нами задачи по подбору параметров пенсионной системы, при которой достигаются максимум пенсионных выплат и коэффициента замещения, средняя доля граждан, участвующих в накопительных пенсионных системах может принимать любые значения от 0 (в накопительных пенсионных системах никто не участвует) до 1 (в накопительных пенсионных системах участвует 100 % населения). Таким образом:  $d_{cp} \in [0; 1]$  .

Значения изменяемых параметров, при которых будут достигнуты максимальные коэффициенты замещения, и пенсионные выплаты будут оптимальными параметрами пенсионных систем.

Для определения оптимальных параметров пенсионных систем могут применяться несколько методов. Одним из методов являются методы аналитической математики. Методы аналитической математики достаточно популярны при решении оптимизационных задач во многих областях физики, химии, экономики. Они достаточно хорошо проработаны в применении к решению задач оптимизации. Одной из первых книг по математике с описанием методов и подходов в решении прикладных задач, в том числе оптимизационных задач с нахождением экстремальных точек, стала работа Блехман, Мышкис, Пановко [92]. Из более современных можем назвать работы Ф. П. Васильева. В его работах приводятся теоретическое обоснование и характеристики методов аналитической математики при решении задач минимизации функций в конечномерных и бесконечномерных пространствах [93]. В работе В. Ф. Демьянова, Л. В. Васильева раскрываются аналитические методы для решения задач в области экономики при нахождении экстремальных значений негладких функций. В работе рассматриваются численные методы минимизации выпуклых недифференцируемых функций, а также функций максимума [94]. Одними из разновидностей методов аналитической математики являются методы линейного прогнозирования и численного анализа, которые ученые математики также предлагают использовать при решении оптимизационных задач [95].

Нами применяется один из методов аналитической математики – линейных преобразований в применении к функциям пенсионных выплат (5.82) и коэффициента замещения (5.84).

$$PZ_j = PZ_i * \text{Вес}_{\text{нчп}} * \frac{\sum_{q=1}^{t_{n_j}} (1 + \alpha_j)^q}{t_{v_j}} * \frac{t_{v_i}}{\sum_{q=1}^{t_{n_i}} (1 + \alpha_i)^q} * d_{cp} + PZ_i * (1 - \text{Вес}_{\text{rem}}) * \frac{K_i}{K_j} * \frac{n_j}{n_i} * (1 - d_{uz} - d_{ip}), \quad (5.91)$$

В формуле (5.91) в первом слагаемом в числителе и знаменателе входят суммы, представляющие собой геометрическую прогрессию, которые могут быть преобразованы по соответствующим формулам прогрессий:

$$\sum_{q=1}^{t_{n_j}} (1 + \alpha_j)^q = \frac{(1 + \alpha_j)^* ((1 + \alpha_j)^{t_{n_j}} - 1)}{(1 + \alpha_j) - 1} . \quad (5.92)$$

$$\sum_{q=1}^{t_{n_i}} (1 + \alpha_i)^q = \frac{(1 + \alpha_i)^* ((1 + \alpha_i)^{t_{n_i}} - 1)}{(1 + \alpha_i) - 1} .$$

Подставляя (5.92) в формулу (5.84), получим:

$$PZ_j = PZ_i * \text{Вес}_{\text{нчп}} * \frac{(1 + \alpha_j)^* ((1 + \alpha_j)^{t_{n_j}} - 1)}{\alpha_j * t_{v_j}} * \frac{t_{v_i} * \alpha_i}{(1 + \alpha_i)^* ((1 + \alpha_i)^{t_{n_i}} - 1)} * d_{cp} + PZ_i * (1 - \text{Вес}_{\text{нчп}}) * \frac{K_i}{K_j} * \frac{n_j}{n_i} * (1 - d_{uz} - d_{lp}) . \quad (5.93)$$

Проанализируем (5.93) с учетом диапазонов входящих параметров, описанных выше. Для этого обозначим  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  и  $X_4$  соответственно, переменные возраст выхода на пенсию ( $w$ ), вес накопительной части пенсии ( $\text{Вес}_{\text{нчп}}$ ), инвестиционную доходность в будущем ( $a_i$ ) и среднюю долю участвующих в накоплениях граждан ( $d_{cp}$ ). Учтем также, что период выплат пенсии в будущем  $t_{vj}$  представляет собой разницу возраста жизни и возраста выхода на пенсию. Диапазон значений для возраста жизни в будущем обозначен  $L_i$ . Таким образом выразим  $t_{vi}$  как:  $t_{vi} = L_j - X_1$ .

В свою очередь период пенсионных накоплений в будущем ( $t_{vj}$ ) представляет собой разницу возраста выхода на пенсию  $X_1$  и возраста вступления в трудовую жизнь, который, как мы вывели из прогноза Роскомстата, составит 24,4 года (см. §1). Таким образом, период пенсионных накоплений можно представить как:  $t_{nj} = X_1 - 24,4$ . Из (5.84) получим:

$$PZ_j = PZ_i * X_2 * \frac{(1 + X_3)^* ((1 + X_3)^{(X_1 - 24,4)} - 1)}{X_3 * (L_j - X_1)} * \frac{t_{v_i} * \alpha_i}{(1 + \alpha_i)^* ((1 + \alpha_i)^{t_{n_i}} - 1)} * X_4 + PZ_i * (1 - X_2) * \frac{K_i}{K_j} * \frac{n_j}{n_i} * (1 - d_{uz} - d_{lp}) \quad (5.94)$$

Для упрощения анализа примем обозначения констант, входящих в функцию (5.94):

$$A = PZ_i * \frac{t_{v_i} * \alpha_i}{(1 + \alpha_i)^* ((1 + \alpha_i)^{t_{n_i}} - 1)} . \quad (5.95)$$

$$B = PZ_j * \frac{K_i}{K_j} * \frac{n_j}{n_i} * (1 - d_{uz} - d_{lp}) . \quad (5.96)$$



Тогда из (5.94) получим:

$$PZ_j = A * X_4 * X_2 * \frac{(1 + X_3)^* ((1 + X_3)^{(X_1 - 24,4)} - 1)}{X_3 * (L_j - X_1)} + B * (1 - X_2). \quad (5.97)$$

Продолжим упрощение и введем новое обозначение:

$$F(X_1, X_3) = \frac{(1 + X_3)^* ((1 + X_3)^{(X_1 - 24,4)} - 1)}{X_3 * (L_j - X_1)}. \quad (5.98)$$

Тогда с учетом (5.98) функция (5.97) примет вид:

$$PZ_j = A * X_4 * X_2 * F(X_1, X_3) + B * (1 - X_2) = X_2 * [(A * X_4 * F(X_1, X_3)) - B] + B \quad (5.99)$$

Характер функции (5.99) будет зависеть от изменения неизвестных  $X_1$  – возраста выхода на пенсию в будущем,  $X_2$  – веса накопительной части пенсии в будущем,  $X_3$  – инвестиционной доходности в будущем и  $X_4$  – средней доли участвующих в накоплениях граждан в будущем.

Проведем анализ значений неизвестной  $X_1$  – возраста выхода на пенсию в будущем, при которых она ( $PZ_j$ ) будет стремиться к максимуму. Получаем:

$$PZ_j \rightarrow \max \dots \text{при} \dots F(X_1, X_3) > 0, \text{если} \dots 60 < X_1 < L_j. \quad (5.100)$$

Интерпретируем выражение (5.100) коэффициент замещения в будущем ( $PZ_j$ ) будет максимизирован (увеличен) за при положительном знаке функции  $F(X_1, X_3)$ , что возможно при возрасте выхода на пенсию, превышающим возраст выхода на пенсию в настоящее время (60 лет для мужчин и 55 лет для женщин), но меньшем, чем планируемая продолжительность жизни  $L_j$  (для мужчин 64,4 года по пессимистичному прогнозу / 73,3 по оптимистичному прогнозу; для женщин – 75,7 лет по пессимистичному прогнозу/ 82,1 по оптимистичному). Проанализируем (5.100) как изменение возраста выхода на пенсию  $X_1$  в рамках определенного диапазона  $[w_1; L_j]$  будет сказываться на результирующей функции – коэффициенте замещения  $PZ_j$ .

$$PZ_j \rightarrow \max \dots \text{при} \dots F(X_1, X_3) \rightarrow \max \dots \text{если} \dots \begin{cases} w_1 < X_1 < L_j, \\ X_1 \rightarrow L_j, \\ X_1 \neq L_j. \end{cases} \quad (5.101)$$

Таким образом, при увеличении возраста выхода на пенсию  $X_1$  в рамках диапазона  $[w_1; L_j]$  функция  $F(X_1, X_3)$  будет возрастать и стремиться к  $L_j$ , что приведет к повышению результирующей функции – коэффициента замещения  $PZ_j$ . При этом  $X_1$  не должен быть равен  $L_j$ , так как при этом функция  $F(X_1, X_3)$  будет равна бесконечности.

Из выражения (5.100) видим, если возраст выхода на пенсию  $X_1$  будет снижаться ниже уровня установленного в настоящее время (60 лет для мужчин и 55 лет для женщин) до уровня вступления в трудовую жизнь ( $v$ ), это приведет к падению функции  $F(X_1, X_3)$ , что в свою очередь приведет к снижению коэффициента замещения  $PZ_j$ :

$$PZ_j \rightarrow \min \dots \text{при} \dots F(X_1, X_3) \rightarrow \min, \dots \text{если} \dots \begin{cases} X_1 < L_j, \\ X_1 \rightarrow v \end{cases} \quad (5.102)$$

Проанализируем (5.102), при каких значениях  $X_1$  целевая функция  $PZ_j$  будет равна бесконечности:

$$PZ_j = \infty \dots \text{при} \dots F(X_1, X_3) = \infty, \text{если} \dots X_1 = L_j. \quad (5.103)$$

Выражение (5.103) показывает, что при  $X_1$ , равном планируемой продолжительности жизни  $L_j$ , функция  $F(X_1, X_3)$  и коэффициент замещения в будущем  $PZ_j$  будут равны бесконечности.

Проведем анализ значений неизвестной  $X_1$  в функции (5.99), при которых целевая функция ( $PZ_j$ ) – коэффициент замещения будет стремиться к минимуму. Из (5.99) следует, что в том случае, если  $X_1$  будет превышать планируемую продолжительность жизни  $L_j$  (для мужчин 64,4 года по пессимистичному прогнозу / 73,3 по оптимистичному прогнозу; для женщин – 75,7 лет по пессимистичному прогнозу / 82,1 по оптимистичному прогнозу, функция  $F(X_1, X_3)$ , будет иметь отрицательный знак. Видим также, если возраст выхода на пенсию  $X_1$  будет снижаться ниже уровня установленного в настоящее время (60 лет для мужчин и 55 лет для женщин), это приведет к падению функции  $F(X_1, X_3)$ , что, в свою очередь, приведет к снижению коэффициента замещения  $PZ_j$ . Таким образом имеем:

$$PZ_j \rightarrow \min \dots \text{при} \dots F(X_1, X_3) \rightarrow \min, \dots \text{если} \dots \begin{cases} X_1 < L_j, \\ X_1 \downarrow \end{cases}. \quad (5.104)$$

При рассмотрении выражений (5.100) – (5.104) мы нашли аналитическим путем значения для возраста выхода на пенсию ( $X_1$ ), с учетом которых проанализируем значения веса накопительной части пенсии  $X_2$  на основе исследования выражения (5.99). Рассмотрим варианты, при которых коэффициент замещения будет стремиться к максимуму:

$$PZ_j \rightarrow \max \dots \text{при} \dots X_3 < 0 \dots \text{если} \dots X_1 \rightarrow L_j \Rightarrow F(X_1, X_3) \rightarrow -\infty, \quad (5.105)$$

$$\text{тогда } F(X_1, X_3) < B / A \Rightarrow X_2 = 0.$$

Либо

$$PZ_j \rightarrow \max \dots \text{при} \dots X_3 < 0 \dots \text{если} \dots X_1 < L_j, \quad (5.106)$$

$$\text{тогда } F(X_1, X_3) < B / A \Rightarrow X_2 = 0$$

Из выражения (5.105) видим, что в случае, если инвестиционная доходность  $X_3$  будет отрицательна, то коэффициент замещения будет стремиться к максимуму при возрасте выхода на пенсию  $X_1$ , стремящемся к возрасту продолжительности жизни, когда функция  $F(X_1, X_3)$  будет меньше отношения положительных констант  $B$  и  $A$ , что возможно при весе накопительной части пенсии  $X_2$ , равном 0. Из выражения (5.106) следует, что при отрицательной инвестиционной доходности  $X_3$  и возрасте выхода на пенсию  $X_1$ , меньшем продолжительности жизни, функция  $F(X_1, X_3)$  будет иметь отрицательный знак и будет, таким образом, меньше отношения положительных констант  $B$  и  $A$ , что также возможно при весе накопительной части пенсии  $X_2$  равной 0. Таким образом, при отрицательной инвестиционной доходности коэффициент замещения  $PZ$  будет стремиться к максимуму, если вес накопительной части пенсии будет 0.

В случае, если инвестиционная доходность  $X_3$  будет положительна, тогда из (5.99) имеем:

$$PZ_j \rightarrow \max \dots \text{при} \dots X_3 > 0 \dots \text{если} \dots X_1 \rightarrow L_j \Rightarrow F(X_1, X_3) \rightarrow +\infty, \quad (5.107)$$

$$\text{тогда } F(X_1, X_3) > B / A \Rightarrow X_2 = 1.$$

Из выражения (5.107) видим, что в случае, если инвестиционная доходность  $X_3$  будет положительна, то коэффициент замещения будет стре-

миться к максимуму при возрасте выхода на пенсию  $X_1$ , стремящемся к возрасту продолжительности жизни, когда функция  $F(X_1, X_3)$  стремится к  $+\infty$  и, соответственно, будет больше отношения констант  $B$  и  $A$ , что возможно при весе накопительной части пенсии  $X_2$ , равном 1.

$$PZ_j \rightarrow \max \dots \text{при} \dots X_3 > 0 \dots \text{если} \dots w_j < X_1 < L_j \Rightarrow X_4 F(X_1, X_3) > B/A. \quad (5.108)$$

Выражение (5.108) означает, что при любом положительном инвестиционном доходе, независимо от возраста выхода на пенсию и доли накопительной части пенсии, целевые функции пенсионной системы будут увеличиваться. В тоже время, если будет наблюдаться отрицательная реальная инвестиционная доходность, сохранение накопительной пенсионной системы нецелесообразно.

Как видим, выражение (5.108) аналитическим методом в явном виде не решить и необходимо использовать иные методы для нахождения параметра  $X_4$  – средней доли участвующих граждан в накопительной пенсионной системе в будущем. Прежде чем перейти к альтернативным методам нахождения параметров целевых функций пенсионной системы, обобщим результаты нашего анализа и сформулируем условия, при которых один из основных показателей пенсионной системы  $PZ$  стремится к максимуму. Увеличение результирующей функции – коэффициента замещения ( $PZ$ ) будет наблюдаться, если:

$$PZ_j \rightarrow \max \dots \text{если} \dots \begin{cases} X_3 < 0, X_1 < L_j, X_2 = 0; \\ X_3 > 0, X_1 \rightarrow L_j, X_2 = 1 \end{cases}. \quad (5.109)$$

Обобщенные результаты, отраженные в (5.109), сводятся к тому что, коэффициент замещения будет стремиться к максимуму, если:

- возраст выхода на пенсию  $X_1$  будет меньше  $L_j$ , инвестиционная доходность  $X_3$  будет отрицательной, а вес накопительной части пенсии  $X_2$  будет равен 0;
- возраст выхода на пенсию  $X_1$  будет стремиться к возрасту продолжительности жизни  $L_j$ , инвестиционная доходность  $X_3$  будет положительной, а вес накопительной части пенсии  $X_2$  будет равен 1.

Важный институциональный вывод, который мы можем сделать из нашего анализа: речь должна идти не о ликвидации накопительной

части пенсии, а об институциональном регулировании, которое бы позволило повысить доходность от инвестирования пенсионных накоплений. Полученные результаты не являются полным решением с нахождением всех значений параметров пенсионной системы, при котором будет наблюдаться максимизация коэффициента замещения. Для полного решения необходимо применять альтернативные методики.

При проектировании пенсионной системы и определении ее оптимальных параметров мы исходим из предположения, что рассматриваемые нами параметры являются случайными величинами, которые могут принимать значения в диапазонах проанализированных нами выше. В то же время мы не знаем, какому закону распределения соответствуют принимаемые значения неизвестных. Законом распределения, которому будет подчиняться рассматриваемая нами неизвестная может быть и гауссовское (нормальное) распределение, логнормальное распределение, гамма-распределение или «хи-квадрат» распределение и т. д. Для определения закона распределения, которому будет соответствовать плотность вероятности принимаемых значений рассматриваемых нами неизвестных, проведем анализ имеющихся статистических данных. Такая выборка у нас имеется по показателям: «инвестиционная доходность» и «возраст выхода на пенсию».

Данные инвестиционной доходности проанализируем на основе результатов инвестирования пенсионных накоплений в период 2004–2011 гг. у 68 управляющих компаний [58]. Мы определили, сколько управляющих компаний продемонстрировали рассматриваемую величину доходности. После этого чтобы получить значения, скорректированные на инфляцию, мы вычли из полученной величины доходности инвестирования пенсионных накоплений среднегодовую инфляцию за рассматриваемый период с 2004 по 2011 гг. в размере 0,0546 (доли) [12]. Результаты расчетов представлены на рис. 5.20.

Как видим на рис. 5.20, доходность инвестирования пенсионных накоплений принимает значение в соответствии с распределением близком к нормальному (гауссовскому).

Проанализируем закон распределения, которому соответствует параметр возраст выхода на пенсию. При этом учтем, что возраст выхода на пенсию не является независимой случайной величиной. Он тесно

взаимосвязан с продолжительностью жизни, в зависимости от которой и определяется. Поэтому при анализе закона распределения возраста выхода на пенсию мы исследуем показатель соотношения продолжительности жизни и возраста выхода на пенсию. Показатель отдельно анализируется для мужчин и женщин по 19 странам OECD: Австралия, Австрия, Великобритания, Венгрия, Германия, Италия, Канада, Люксембург, Мексика, Нидерланды, Норвегия, Польша, Словакия, США, Чехия, Франция, Швейцария, Швеция, Япония.

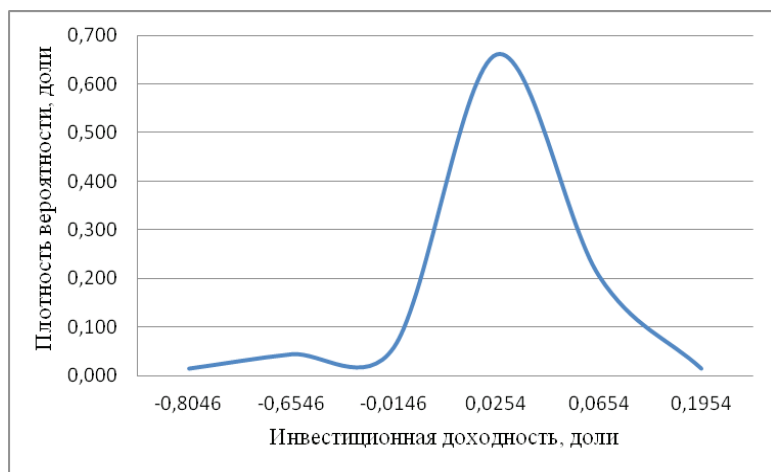


Рис. 5.20. Плотность вероятности доходности инвестирования пенсионных накоплений за период 2004–2011 гг.

Для анализа закона распределения показателя соотношения продолжительности жизни и пенсионного возраста мы провели в Excel фильтрацию значений и определили, сколько стран имели рассматриваемый показатель соотношения продолжительности жизни и пенсионного возраста. Разделив количество стран, в которых наблюдался показатель определенной величины на количество рассматриваемых стран – 19, мы определили плотность вероятности. Результаты анализа представлены на рис. 5.21.

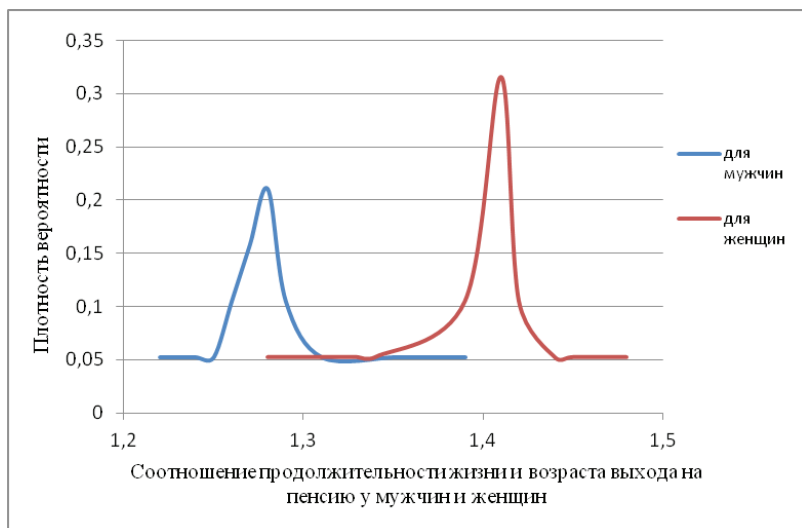


Рис. 5.21. Плотность вероятности соотношения продолжительности жизни и возраста выхода на пенсию у мужчин и женщин для стран OECD для 2010 г.

Как видим на рис. 5.21, соотношение продолжительности жизни и возраста выхода на пенсию доходность инвестирования пенсионных накоплений принимает значение в соответствии с распределением близком к нормальному (гауссовскому). Характер графика плотности вероятности соотношения продолжительности жизни и возраста выхода на пенсию у мужчин позволяет сделать важный вывод на основе сравнительного анализа соотношения продолжительности жизни и возраста выхода на пенсию у мужчин и женщин. В соответствии с демографическим прогнозом Роскомстата, продолжительность жизни у мужчин в России к 2030 г. составит по пессимистическому прогнозу 64,4 года, по оптимистическому – 73,3 года, у женщин, соответственно, 75,7 лет и 82,1 года. В соответствии с данными, представленными на рис. 5.21, соотношении продолжительности жизни и возраста выхода на пенсию по странам OECD колеблется у мужчин в пределах [1,22; 1,39], для женщин, соответственно, в пределах [1,28; 1,48]. Разделив прогнозируемую продолжительность жизни на показатель соотношения продолжительности жизни и возраста выхода на пенсию, получаем, что возраст выхода на пенсию в России для мужчин

может колебаться в пределах [1,07; 1,21], для женщин, соответственно, [1,57; 1,66]. Эти результаты показывают, что пенсионный возраст с учетом продолжительности жизни у мужчин в России существенно завышен относительно среднего по OECD, в то время как у женщин занижен. Еще один важный вывод, который мы можем сделать для институционального регулирования пенсионной системы в РФ: при реформировании пенсионной системы РФ с целью повышения целевых функций – пенсионных выплат и коэффициента замещения пенсионный возраст (параметр  $X_1$ ) у женщин должен быть значительно повышен, в то время как у мужчин либо оставлен на прежнем уровне, либо увеличен, но не существенно. При этом отметим, что качество жизни при этом у женщин будет поддерживаться на уровне среднем по OECD, а у мужчин оставаться все же ниже. Здесь мы понимаем под одним из показателей качества жизни соотношение продолжительности жизни и возраста выхода на пенсию, то есть продолжительность пребывания гражданина на пенсии. Поэтому при дальнейшем моделировании оптимальных показателей пенсионной системы для мужчин мы не будем предусматривать возможность увеличения у них пенсионного возраста. У женщин ситуация несколько другая: при сегодняшнем возрасте выхода на пенсию в 55 лет резервы на увеличения возраста на пенсию есть. При этом качество жизни у женщин будет поддерживаться на уровне OECD.

Статистики по показателям веса накопительной части пенсии в пенсионном обеспечении гражданина и средней доле участвующих в накоплениях граждан нам не удалось найти в объеме, достаточном для статистически значимых выводов. Поэтому при дальнейшем моделировании и определении оптимальных показателей пенсионной системы мы вынуждены условно исходить из предположения, что их законы распределения также близки к нормальному (гауссовскому).

Математическое моделирование пенсионных систем и определение оптимальных параметров будет в дальнейшем строиться исходя из Гауссовского закона распределения рассматриваемых параметров. Моделирование будет происходить в следующей последовательности:

1. Построение функции распределения для неизвестных – возраста выхода на пенсию (у женщин), доходности от инвестирования пенсионных накоплений и веса накопительной части пенсии в пенсионном обеспечении гражданина.

2. Определение наиболее вероятных значений переменных с учетом нормального закона распределения.



3. Моделирование значений функции (5.99) с учетом вероятности значений входящих в функцию переменных.

4. Нахождение экстремумов функции и определение параметров, при которых они достигаются.

Как мы уже доказали выше, моделируемые показатели изменяются в определенных диапазонах по закону нормального распределения Гаусса [96]. При построении функции распределения для неизвестных можно также воспользоваться функцией Excel НОРМРАСП. Мы использовали «ручной» метод расчета с применением таблиц Excel для возможности корректировки и отслеживания влияния параметров.

При моделировании функции нормального распределения для доходности инвестирования пенсионных накоплений нами были заданы следующие исходные данные:

а) на основе распределения инвестиционной доходности соответствующего стандартному нормальному распределению (см. рис. 5.20) математическим ожиданием  $\mu$  нами принято 0, стандартное отклонение  $\sigma = 1$ ;

б) границы значений для переменной инвестиционной доходности были заданы исходя из минимального ( $-0,75$ ) и максимального ( $+0,954$ ) значений среднегодовой доходности инвестирования пенсионных накоплений управляющими компаниями за период с 2004 по 2011 г. (см. рис. 5.20);

в) при моделировании функции распределения инвестиционной доходности мы исходили из необходимости максимально приблизить ее к характеру распределения инвестиционной доходности по статистическим данным за период с 2004 по 2011 г. Смоделированная на основе сформулированных исходных данных с использованием пакета Excel функция распределения инвестиционной доходности представлена на рис. 5.20.

При моделировании функции нормального распределения для возраста выхода на пенсию у женщин нами были заданы следующие исходные данные:

а) на основе распределения возраста выхода на пенсию, соответствующего стандартному нормальному распределению (см. рис. 5.21), математическое ожидание  $\mu$  нами принято 0, стандартное отклонение  $\sigma = 1$ ;

б) границы значений для переменной возраста выхода на пенсию женщин были заданы исходя из минимального (57,3 лет) и максимального (65,7 лет) значений возраста выхода на пенсию (см. анализ рис. 5.21);

в) при моделировании функции распределения возраста выхода на пенсию мы исходили из необходимости максимально приблизить ее к

характеру распределения возраста выхода на пенсию по статистическим данным за период с 2004 по 2011 г. (см. рис 5.21).

При моделировании функции нормального распределения для возраста выхода на пенсию у мужчин нами были заданы следующие исходные данные:

а) на основе распределения возраста выхода на пенсию, соответствующего стандартному нормальному распределению (см. рис. 5.21), математическое ожидание  $\mu$  нами принято 0, стандартное отклонение  $\sigma = 1$ ;

б) границы значений для переменной возраста выхода на пенсию мужчин были заданы исходя из минимального (48,8 лет) и максимального (58,7 лет) значений возраста выхода на пенсию (см. рис. 5.21);

в) при моделировании функции распределения возраста выхода на пенсию мы исходили из необходимости максимально приблизить ее к характеру распределения возраста выхода на пенсию по статистическим данным за период с 2004 по 2011 г. (см. рис 5.21).

Как видим на рис. 5.20–5.21, наиболее вероятные значения возраста выхода на пенсию мужчин находятся в районе 53,5–54 лет, что находится ниже установленного в настоящее время пенсионного возраста в 60 лет [57]. Это делает невозможным увеличение данного параметра в целях максимизации основных показателей пенсионной системы таких, как коэффициент замещения и пенсионные выплаты.

С учетом полученных распределений неизвестных смоделируем с функцию (5.99) с применением Excel, изменяя в качестве неизвестных значения  $X_1$  – возраст выхода на пенсию и  $X_3$  – инвестиционная доходность, которые как мы уже выяснили при анализе выражения (5.99), в явном виде не находятся. Вес накопительной части в пенсионном обеспечении  $X_2$  и доля граждан, участвующих в пенсионных накоплениях  $X_4$ , приняты 0,8. При определении параметров пенсионной системы учтем их вероятностные распределения, что отражено на рисунке через цветное выделение. Результаты моделирования представлены в виде графика (см. рис. 5.23).

Как показывает рис. 5.22, целевая функция «коэффициент замещения» для женщин может достичь рекомендованного МОТ значений в 0,4–0,6 при увеличении возраста выхода на пенсию до [61,4; 62,3] и наличии реальной инвестиционной доходности (превышающей инфляцию) в [0,12 %; 0,18 %] и весе накопительной части пенсии в 0,8. При этом сам коэффициент замещения при таких параметрах составит [0,48; 0,55].

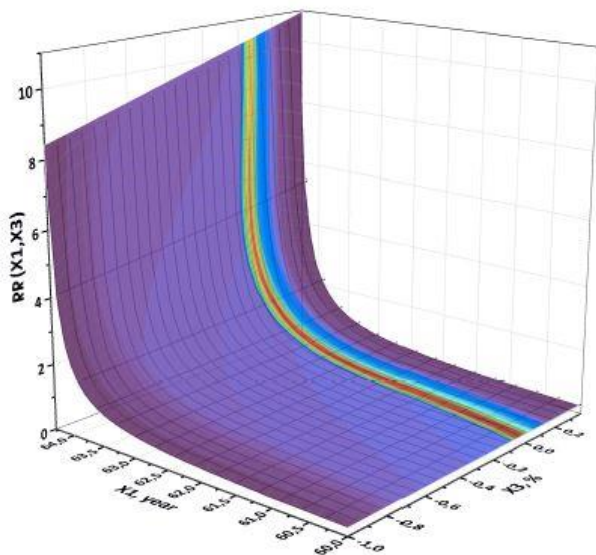


Рис. 5.22. Моделирование оптимальных значений пенсионного возраста и инвестиционной доходности в пенсионной системе для женщин при весе накопительной части пенсии 0,8: выделена область значений параметров с наибольшей вероятностью

Как показывает рис. 5.22, целевая функция «коэффициент замещения» для мужчин может достичь рекомендованного МОТ значений в 0,4–0,6 при снижении возраста выхода на пенсию до [58,5; 59] и наличии реальной инвестиционной доходности (превышающей инфляцию) в [0,12 %; 0,18 %] и весе накопительной части пенсии в 0,8. При этом сам коэффициент замещения при таких параметрах составит [0,4; 0,42]

На рисунке видим разрыв рассматриваемой функции при инвестиционной доходности, равной 0. Это объясняется следующими причинами: из показателей функции (5.99) видим, что при инвестиционной доходности ( $X_3$ ), стремящейся к нулю, функция  $F(X_1, X_3)$  и, соответственно, коэффициент замещения  $PZ_j$  стремится к бесконечности:

$$X_3 \rightarrow 0, \text{ тогда } F(X_1, X_3) \rightarrow \infty, \text{ тогда } PZ_j \rightarrow \infty. \quad (5.110)$$

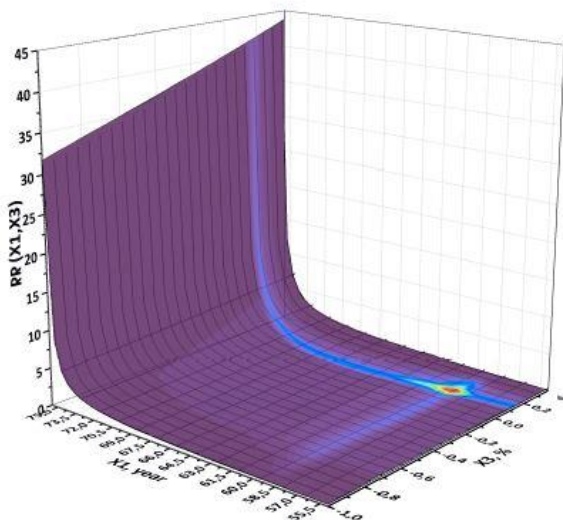


Рис. 5.23. Моделирование оптимальных значений пенсионного возраста и инвестиционной доходности в пенсионной системе для мужчин при весе накопительной части пенсии 0,8: выделена область значений параметров с наибольшей вероятностью. Зависимость коэффициента замещения для мужчин ( $PZ_0X_0$ ) от возраста выхода на пенсию и инвестиционной доходности

Как показывает рисунок, при увеличении возраста выхода на пенсию и инвестиционной доходности коэффициент замещения возрастает от 0,24 – минимального значения при инвестиционной доходности  $-1$  и возрасте выхода на пенсию 60 лет до 1,28 – максимального значения при реальной инвестиционной доходности 6 % и возрасте выхода на пенсию 63 лет. Однако, если коэффициент замещения достигнет 1,28, (что означает, что пенсия превысит в 1,28 раза заработную плату пенсионера перед выходом на пенсию), то застрахованному лицу будет выгоднее выйти на пенсию нежели работать. Таким образом, формирование параметров пенсионной системы, при которых максимизирует коэффициент замещения, может создать ситуацию, когда вновь созданная пенсионная система будет убивать стимул к труду. Исходя из этого, мы полагаем, что первоначальная наша цель – максимизация основных показателей пенсионной системы за счет изменения ее параметров должна быть скорректирована и сформулиро-

вана как «нахождение оптимальных показателей пенсионной системы за счет изменения ее параметров при неполучении отрицательного влияния на рынок труда». В качестве нижнего оптимального значения для коэффициента замещения могли бы выступить рекомендации Международной организации труда по минимальному значению коэффициента замещения в 0,4 [17; 37], в качестве верхней границы – средняя величина коэффициента замещения по программам обязательного пенсионного страхования в странах OECD, равная 0,55. Таким образом, задача сводится к определению области параметров пенсионной системы, при которых коэффициент замещения достигнет будет находится в области от 0,4 до 0,55.

На рис. 5.23 видим, что более вероятные значения коэффициента замещения находятся в области [0,4; 0,55], при котором величина инвестиционной доходности будет находиться в промежутке [1; 2,5], а возраст выхода на пенсию – в промежутке [62,8; 63].

Среди определенных нами параметров, обеспечивающих наиболее вероятные значения коэффициентов замещения, можем выделить наиболее вероятные значения коэффициентам замещения и параметров, его обеспечивающих. На рисунке «зависимость коэффициента замещения для мужчин ( $PZ_0X_0$ ) от возраста выхода на пенсию и инвестиционной доходности» (см. рис. 5.22) область наиболее вероятных значений выделена. Наиболее вероятный коэффициент замещения, соответствующий ограничению оптимального решения, находится в диапазоне [0,48; 0,55], который достигается при инвестиционной доходности, находящейся в промежутке [2;2,5], и возрасте выхода на пенсию в промежутке [62,8; 63]:

$$PZ \in [0,48; 0,55] \dots \text{при} \dots \begin{cases} w \in [62,8; 63]; \\ \alpha \in [2; 2,5] \end{cases} . \quad (5.111)$$

Выражение (5.111) означает наиболее вероятно достигнуть величины коэффициента замещения в промежутке от 0,4 до 0,55 (это соответствует нормам МОТ) за счет следующих значений моделируемых параметров: средний возраст выхода на пенсию ( $X_1$ ) – от 62,8 до 63 лет. Как мы уже доказали выше, возраст выхода на пенсию у мужчин повышен быть не может. Это означает, что для повышения среднего возраста до 62,8–63 лет пенсионный возраст женщин должен составить 65,6–66 лет. Оптимальная величина реальной инвестиционной доходности для поддержания коэффициента замещения в заданных диапазонах должна составлять от 2 до

2,5 % при весе накопительной части во взносах на обязательное пенсионное обеспечение 0,8 и доле граждан, участвующих в пенсионных накоплениях 0,8.

Обобщим результаты применения методов аналитической математики и математического моделирования при проектировании оптимальной пенсионной системы:

1. При наличии любой положительной доходности от инвестирования пенсионных накоплений накопительную пенсионную систему необходимо сохранять. В этом случае накопительная пенсионная система будет увеличивать пенсионные выплаты и коэффициент замещения в целом в пенсионной системе. Справедливо и обратное: если доходность отрицательная, накопительная пенсионная система нецелесообразна.

2. При наличии положительной реальной инвестиционной доходности вес накопительной пенсионной системы в пенсионных взносах необходимо увеличивать с целью повышения основных показателей системы – коэффициента замещения и пенсионных выплат.

3. В случае, если реальная инвестиционная доходность положительна, целесообразно повышать долю населения, участвующего в накопительной пенсионной системе, что будет способствовать росту основных показателей пенсионной системы в целом.

4. Для увеличения основных показателей пенсионной системы необходимо увеличение пенсионного возраста в среднем до 62,8–63 лет. При этом увеличение пенсионного возраста у мужчин нецелесообразно, а у женщин пенсионный возраст может быть увеличен до 65,6–66 лет.

5. Для поддержания коэффициента замещения в диапазоне от 0,48 до 0,55, что соответствует рекомендациям МОТ, реальная (превышающая инфляцию) доходность от инвестирования пенсионных накоплений должна составлять от 2 до 2,5 % при доле накопительной части пенсии во взносах на обязательное пенсионное страхование 0,8 и доле работающих, являющихся участниками накопительной пенсионной системы, 0,8.

При поддержании параметров влияния на определенном нами уровне пенсионные выплаты увеличатся, а коэффициент замещения составит от 0,48 до 0,55, что будет соответствовать рекомендациям Международной организации труда. Для поддержания параметров влияния на рассчитанных уровнях пенсионная система РФ требует институциональной перестройки, для анализа которой мы рассмотрим первоначально законодательные основы действующей в РФ пенсионной системы.

**Список библиографических ссылок**

1. Федотов Д. Ю. Развитие пенсионной системы России : (вопросы теории и практики) : дис. ... д-ра экон. наук. 2009. 385 с.
2. Новиков А. А. Эволюция пенсионной системы России : дис. ... д-ра экон. наук. М., 2008. 380 с.
3. Александров Д. Г. Долгосрочная стратегия развития пенсионной системы в переходной экономике : дис. ... д-ра экон. наук. М., 2000. 273 с.
4. Дегтярев Г. Д. Реформирование пенсионной системы России: институциональный анализ : дис. ... д-ра экон. наук. М., 2006. 365 с.
5. Рябинин А. В. Механизмы трансформации и устойчивости пенсионных систем в экономическом пространстве СНГ : дис. ... д-ра экон. наук. М., 2000.
6. Муравлёва Т. В. Пенсионное страхование в России: финансовое обеспечение, стратегия управления и развития : автореф. дис. ... д-ра экон. наук. Саратов, 2010. 37 с.
7. Митрофанов П. С. Будущее пенсионного рынка: рост требует инфраструктуры // Перспективы пенсионного рынка : материалы круглого стола аналитического центра «Эксперт-Урал». 2011. URL: <http://www.expert-ural.com/3-526-11044/> (дата обращения: 2.11.2012).
8. Доклад министра труда и социального развития М. Топлина «Стратегия долгосрочного развития пенсионной системы Российской Федерации» URL: [http://www.rosmintrud.ru/pensions/razvitie/234/dlya\\_slushaniy.ppt](http://www.rosmintrud.ru/pensions/razvitie/234/dlya_slushaniy.ppt) (дата обращения: 9.03.2014).
9. Официальный сайт Организации экономического развития и сотрудничества (ОЭСР) (The Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). URL: [www.oecd.org](http://www.oecd.org) (дата обращения: 1.12.2013).
10. Официальный сайт универсальной базы данных East View. URL: <http://kroncs.spb.ru> (дата обращения: 12.12.2013).
11. Официальный сайт Всемирного банка. URL: [www.worldbank.org](http://www.worldbank.org) (дата обращения: 1.12.2013).
12. Официальный сайт Госкомстата РФ. URL: [www.gks.ru](http://www.gks.ru) (дата обращения: 23.12.2013).
13. Итоги пенсионной реформы и долгосрочные перспективы развития пенсионной системы Российской Федерации с учетом влияния мирового финансового кризиса : аналит. доклад. URL: [http://www.rosmintrud.ru/docs/mzsr/insurance/6/#\\_ftn8](http://www.rosmintrud.ru/docs/mzsr/insurance/6/#_ftn8) (дата обращения: 10.03.2014).

14. Гурвич Е. Т., Сони́на Ю. В. Микроанализ российской пенсионной системы // *Вопр. экономики*. 2012. № 2. С. 27–51.
15. Гурвич Е. Т. Принципы новой пенсионной реформы // *Вопр. экономики*. 2011. № 4. С. 4–32 с.
16. Дмитриева О. Экономические кругообороты и финансовые «пылесосы» // *Вопр. экономики*. 2013. № 7, Июль. С. 49–62.
17. Официальный сайт международной организации труда. URL: [www.ilo.org](http://www.ilo.org) (дата обращения: 25.05.2013).
18. Pension at a glance 2011: Retirement – income systems in OECD and G20 countries. OECD. 2011.
19. Auer P., Fortuny M. Employment paper. Ageing of the Labour Force in OECD Countries: Economic and Social Consequences. International Labour Office Geneva. Employment Sector. 2000. 51 p.
20. Рлик В. Д. Пенсионная система России: трудный путь становления страховых институтов // *ЭКО Всерос. экон. журнал*. 2011. № 3, Март. С. 5–23.
21. Кузмина О. Е. Динамика пенсионных стратегий населения за 2005–2012 гг. // *Мир России*. 2013. № 4. С. 118–147
22. Prentice T. Health, History and Hard Choices: Funding Dilemmas in a Fast-Changing World // WHO. Nonprofit and Voluntary Sector Quarterly. 2008. Vol. 37, № 1. P. 5–18.
23. Гутник В., Зимаков А. Пенсионная реформа в Германии // *Совр. Европа*. 2001. № 2. С. 49–59.
24. World Bank. The Pension System in Crisis. Regional Report for Europe and Central Asia. 2009. URL: [siteresources.worldbank.org/ECAEXT/Resources/258598 - 1256842123621/6525333 - 1260213816371/PensionCrisisPolicyNotefinalru.pdf](http://siteresources.worldbank.org/ECAEXT/Resources/258598-1256842123621/6525333-1260213816371/PensionCrisisPolicyNotefinalru.pdf). (дата обращения: 12.12.2013).
25. Mesle F., Vallin J. The Health Transition: Trends and Prospects // *Demography: Analysis and Synthesis. A Treatise in Demography* / eds. G. Caselli, J. Vallin, G. Wunsch. N.Y. : Elsevier, 2006. P. 247–602.
26. Малеева Т. Н., Синявская О. В. Повышение пенсионного возраста: pro et contra // *Журнал новой экономической ассоциации*. 2010. № 8. С. 117–140.
27. Назаров В. Будущее пенсионной системы: параметрические реформы или смена парадигмы? // *Вопр. экономики*. 2012. № 9. С. 67–87.
28. MacInnes J. Sociology and Demography: A Promising Relationship? Women's Employment, Parental Identity and Fertility in Europe. An Analysis



of the Family and Gender Roles // *Edinburgh Working Papers in Sociology*. 2003. № 23 / University of Edinburgh.

29. *Потаненко В. В., Широков А. А.* Развитие пенсионной системы как элемент долгосрочной экономической политики // *Проблемы прогнозирования*. 2012. № 4. С. 86–99.

30. *Гонтмахер Е.* Проблема старения населения в России // *Мировая экономика и международные отношения*. 2012. № 1. С. 22–29.

31. OECD. Pensions at a Glance 2013: OECD and G20 Indicators, OECD Publishing. URL: [http://dx.doi.org/10.1787/pension\\_glance-2013-en](http://dx.doi.org/10.1787/pension_glance-2013-en) (дата обращения: 4.02.2014).

32. *Nguyen T., Stützel R.* Rentenversicherung, Bevölkerungsentwicklung und Kapitalmarktrendite – Eine Simulationsrechnung // *Zeitschrift für die gesamte Versicherungswissenschaft*. 2012. Vol. 101, Is. 5, December. P. 675–691.

33. *Соловьев А. К.* Долгосрочное прогнозирование развития пенсионной системы России: факторы и условия // *Проблемы прогнозирования*. 2012. № 3. С. 86–102.

34. *Гурвич Е. Т.* Перспективы российской пенсионной системы // *Вопр. экономики*. 2007. № 9. С. 46–72.

35. *Sharpe W. F.* Budgeting and monitoring pension fund risk // *Financial Analysts Journal*. Vol. 58, Is. 5. P. 74–86.

36. *Gollier C.* Intergenerational risk-sharing and risk-taking of a pension fund // *J. of Public Economics*. 2008. Vol. 92, Is. 5–6. P. 1463–1485.

37. *Josa-Fombellid R., Rincon-Zapatero J. P.* Optimal risk management in defined benefit stochastic pension funds // *Insurance mathematics and economics*. 2007. Vol. 34, Is. 3. P. 489–503.

38. Официальный сайт Министерства финансов РФ. URL: [www.minfin.ru](http://www.minfin.ru) (дата обращения: 25.04.2013).

39. Официальный сайт Центрального банка РФ. URL: <http://www.cbr.ru> (дата обращения: 30.04.2013).

40. *Marti C. P.* The performance of spanish pension plan // *African Journal of Business Management*. Vol. 5, Iss. 29. P. 11686–11695.

41. Официальный сайт Пенсионного фонда РФ. URL: [www.pfrf.ru](http://www.pfrf.ru). (дата обращения: 10.11.2013).

42. Федеральный закон № 111 «Об инвестировании средств накопительной части трудовой пенсии в Российской Федерации».

43. Постановление Правительства РФ № 379 от 30.06.2003 «Об установлении дополнительных ограничений на инвестирование средств пен-

сионных накоплений в отдельные классы активов и определении максимальной доли отдельных классов активов в инвестиционном портфеле»

44. Сайт финансовой и инвестиционной информации. URL: [www.cbonds.ru](http://www.cbonds.ru) (дата обращения: 4.10.2013).

45. Официальный сайт Московской межбанковской валютной биржи. URL: <http://rts.micex.ru/a78> (дата обращения: 30.04.2013).

46. Официальный сайт Российской торговой системы. URL: [www.micex.ru](http://www.micex.ru). (дата обращения 23.12.2013).

47. *Bikker J. A., Vlaar P. J.* Conditional indexation in defined benefit pension plans in the Netherlands // *Geneva Papers of Risk and Insurance: Issues and Practice*. 2007. Vol. 32, Is. 4, October. P. 494–515.

48. *Yang S. S., Huang H.-C.* The impact of longevity risk on the optimal contribution rate and asset allocation for defined contribution pension plans // *Geneva Papers on Risk and Insurance: Issues and Practice*. 2009. Vol. 34, Is. 4 October P. 660–681.

49. *Merton R., Bodie Z.* On the mangement of financial guarantees // *Financial Management*. 1992. Vol. 21, Is. 4. P. 87–109.

50. Берзон Н. И., Аршавский А. Ю., Буянова Е. А. Фондовые индексы // *Фондовый рынок* / под ред. Н. И. Берзона. 3-е изд. М. : Вита, 2002. 559 с.

51. *Markowitz H.* Portfolio Selection // *The Journal of Finance*. 1952. Vol. VII, № 1 March.

52. *Markowitz H.* Portfolio Selection. Efficient diversification of investment : monograph // J. Wiley, Sons. Monograph for Research in Economics of Yale Unoiversity. N. Y., 1959. 356 p.

53. *Black F.* Noise // *J. of Finance*. 1986. Vol. 41, Is. 3. P. 529–543.

54. *DeLong J., Schleifer A., Summers L., Waldmann R.* The Size and Incidence of Losses from Noise from Noise Trading // *J. of Finance*. 1989. № 44 (3) July. P. 681–696.

55. *Меньшиков С. М.* Влияние пенсионных фондов на волатильность российского рынка акций // *Корпоративные финансы*. 2013. № 1(25). С. 17–31.

56. *Nepp A.* The Role of Demographic Risks for Unfunded Pension Systems // *World Applied Sciences Journal*. 2013. Iss. 27. P. 234–240.

57. Федеральный закон от 17 декабря 2001 г. № 173-ФЗ «О трудовых пенсиях в Российской Федерации».

58. Обзор инвестирования средств пенсионных накоплений за 2012 год. Министерство финансов РФ (электронный ресурс). URL: [http://minfin.ru/common/img/uploaded/library/2013/10/Obzor\\_\(2012\\_03\\_10\\_2013\).pdf](http://minfin.ru/common/img/uploaded/library/2013/10/Obzor_(2012_03_10_2013).pdf) (дата обращения: 23.05.2013).

59. Федеральный закон «О дополнительных страховых взносах на накопительную часть трудовой пенсии и государственной поддержке формирования пенсионных накоплений» № 56-ФЗ от 30.04.2008.

60. Динамичное социальное обеспечение для Европы: Выбор и ответственность. События и тенденции // Международ. ассоциация социального обеспечения. Женева, 2010. 42 с.

61. *La Porta R., Lopez-de-Silanes F., Shleifer A.* What Works in Securities Laws? Harvard University, Yale University, and Harvard University, 2003. P. 51.

62. *Guiso L., Sapienza P., Zingales L.* Trusting the Stock Market // The Journal of Finance. 2008. Vol. LXIII, № 6. December.

63. *Giannetti M., Koskinen Y.* Investor Protection and the Demand for Equity ECGI Working Paper Series in Finance Working Paper. 2004. № 63 December.

64. *Agrast M., Boreto J., Martinez J. Ponce A., Pratt C.* WJP Rule of Law Index. Washington D.C. The World Justice Projekt. 605 p.

65. Официальный сайт исследования защиты прав собственности Международным альянсом прав собственности. URL: <http://www.internationalpropertyrightsindex.org/ranking> (дата обращения: 13.02.2014).

66. *Гмурман В. Е.* Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. пособие для вузов. 10-е изд., стер. М. : Высш. школа, 2004. 479 с.

67. Федеральный закон «Об обязательном пенсионном страховании в Российской Федерации» от 15.12.2001 № 167-ФЗ.

68. Финансовые результаты участия граждан в программах софинансирования. URL: [http://www.pfrf.ru/financed\\_public\\_pension/](http://www.pfrf.ru/financed_public_pension/) (дата доступа: 28.02.2014).

69. Трудоспособное население РФ : стат. отчет Росстата. URL: [http://www.gks.ru/bgd/regl/b13\\_01/IssWWW.exe/Stg/d12/3-2.htm](http://www.gks.ru/bgd/regl/b13_01/IssWWW.exe/Stg/d12/3-2.htm). (дата обращения: 28.02.2014).

70. Выступление Путина 29.02.2012. URL: <http://ria.ru/economy/20120229/580581876.html> (дата обращения: 28.02.2014).

71. Интервью заместителя генерального директора агентства страхования вкладов Андрея Мельникова «Российской газете». URL: : <http://www.rg.ru/2012/03/12/banki.html>

72. *Лившиц В. Н.* Системный анализ рыночного реформирования нестационарной экономики России. М. : ЛЕНАНД, 2013. 640 с.

73. Самуэльсон П., Нордхаус В. Основания экономического анализа. СПб. : Экон. школа, 2002, 606 с.

74. Заде Л., Деккер Ч. Теория линейных систем. М. : Наука. 1970. 704 с.

75. Гурвич Е. Т. Реформа 2010 г.: решены ли долгосрочные проблемы пенсионной системы? // Журнал Нов. эконо. ассоциации. 2010. № 6. С. 98–119.

76. Кудрин А., Гурвич Е. Старение населения и угроза бюджетного кризиса // Вопр. экономики. 2012. № 3. С. 52–79.

77. Федеральный закон от 20.04.2015 № 96-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон “О бюджете Пенсионного фонда Российской Федерации на 2015 год и на плановый период 2016 и 2017 годов”».

78. Федеральный закон от 01.12.2014 № 385-ФЗ (ред. от 20.04.2015) «О бюджете Пенсионного фонда Российской Федерации на 2015 год и на плановый период 2016 и 2017 годов».

79. Федеральный закон Российской Федерации Федеральный закон Российской Федерации от 1 декабря 2014 г. № 384-ФЗ «О федеральном бюджете на 2015 год и на плановый период 2016 и 2017 годов».

80. Федеральный закон от 02.12.2013 № 320-ФЗ «О бюджете Пенсионного фонда Российской Федерации на 2014 год и на плановый период 2015 и 2016 годов».

81. Федеральный закон от 14.10.2014 № 298-ФЗ «Об исполнении бюджета Пенсионного фонда Российской Федерации за 2013 год».

82. Федеральный закон Российской Федерации от 3 декабря 2012 г. № 218-ФЗ «О бюджете Пенсионного фонда Российской Федерации на 2013 год и на плановый период 2014 и 2015 годов».

83. Федеральный закон Российской Федерации от 30 сентября 2013 г. № 255-ФЗ «Об исполнении бюджета Пенсионного фонда Российской Федерации за 2012 год».

84. Федеральный закон от 30 ноября 2011 г. № 373-ФЗ «О бюджете Пенсионного фонда Российской Федерации на 2012 год и на плановый период 2013 и 2014 годов».

85. Федеральный закон от 02.10.2012 № 152-ФЗ «Об исполнении бюджета Пенсионного фонда Российской Федерации за 2011 год».

86. Федеральный Закон от 10 декабря 2010 года № 355-ФЗ «О бюджете Пенсионного фонда Российской Федерации на 2011 год и на плановый период 2012 и 2013 годов».

87. Федеральный закон от 6 октября 2011 г. № 268-ФЗ «Об исполнении бюджета Пенсионного фонда Российской Федерации за 2010 год».
88. Федеральный Закон от 30.11.2009 № 307-ФЗ «О бюджете Пенсионного фонда Российской Федерации на 2010 год и на плановый период 2011 и 2012 годов».
89. Федеральный Закон от 4 октября 2010 года № 258-ФЗ «Об исполнении бюджета Пенсионного фонда Российской Федерации за 2009 год».
90. Федеральный закон от 25.11.2008 № 214-ФЗ (ред. от 25.11.2009) «О бюджете Пенсионного фонда Российской Федерации на 2009 год и на плановый период 2010 и 2011 годов».
91. Федеральный закон от 27 декабря 2009 г. № 373-ФЗ «Об исполнении бюджета Пенсионного фонда Российской Федерации за 2008 год».
92. *Блехман И. И., Мышкис А. Д., Пановко Н. Г.* Прикладная математика: Предмет, логика, особенности подходов. Киев : Наукова думка, 1976. 271 с.
93. *Васильев Ф. П.* Методы оптимизации. М. : Факториал пресс, 2002. 824 с.
94. *Демьянов В. Ф., Васильев Л. В.* Недифференцируемая оптимизация (оптимизация и исследование операций) М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит-ры, 1981. 384 с.
95. *Моисеев Н. Н., Иванюков Ю. П., Столярова Е. М.* Методы оптимизации. М. : Наука, 1978. 351 с.
96. *Вентцель Е. С.* Теория вероятностей. 10-е изд., стер. М. : Академия, 2005. 576 с.

## Глава 6

# **ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИИ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ЭКОНОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

### **§1. Современные тренды в развитии социально-экономической системы здравоохранения в условиях меняющегося климата**

Глобальные изменения климата ведут к тому, что природные катастрофы и аномальные погодные явления появляются в мире все чаще и становятся все интенсивнее [1]. Это неизбежно ведет к ущербу для здоровья и социально-экономических условий жизни населения, а также функционирования экосистем, поэтому, чтобы делать прогнозы о здоровье населения и о приоритетах развития системы здравоохранения в будущем, необходимо понимать взаимосвязь между индикаторами здоровья и изменением климата. Несмотря на то, что существуют исследования, которые определяют эту взаимосвязь в разных регионах мира, нужно понимать, что этот эффект различный из-за различий в климатических и социально-экономических условиях в разных странах и регионах [2].

В данной главе авторы рассматривают проблемы и перспективы для здоровья и жизнедеятельности человека в условиях меняющегося климата в мире, и в России в частности. Мы проводим анализ существующей литературы, а также подчеркиваем методологические особенности моделирования климата и здоровья населения. Наша работа также находит взаимосвязь между изменением климата и здоровьем населения для российских регионов. Актуальность данного исследования заключается в том, что, по прогнозам Межгосударственной комиссии по исследованию климата, вероятность учащения тепловых волн в России увеличивается [3]. Более того, количество аномалий, таких как сильные холода зимой и волны жары летом, будет возрастать [3].

Параграф 1 данной главы посвящен анализу современных трендов в индикаторах здоровья населения в мире, а также основной экономической и эпидемиологической литературе, изучавшей влияние климатических условий на здоровье и смертность населения. В параграфе 2 рассмо-

тренды основные теоретические механизмы влияния климатических и погодных условий на здоровье и жизнедеятельность человека. В параграфе 3 обсуждаются методологические особенности подготовки погодных данных для анализа, их эконометрического моделирования и экономической оценки, а также интерпретации результатов. Заключительный параграф рассматривает прогнозы влияния климатических изменений на жизнедеятельность населения, а также приводит описание основных результатов, полученных авторами в ходе анализа влияния погодных условий на здоровье населения в российских регионах.

Под понятиями «климат» и «климатические изменения» в литературе понимаются долгосрочные погодные особенности определенного региона, такие как средняя температура воздуха в определенные месяцы, средний уровень осадков и т. п., а также изменения в них. Под понятием «погода» и «погодные изменения» понимается состояние атмосферы в определенном месте, включая температуру воздуха, размер осадков, скорость ветра и величину атмосферного давления, а также изменения в данных факторах. Экстремальные или аномальные погодные явления – погодные изменения, которые нехарактерны для климата данного региона [4]. В качестве аномальных погодных явлений чаще всего рассматривают аномальную жару и заморозки, наводнения и засухи, ураганы и извержения вулканов. Подробная классификация экстремальных погодных явлений приведена в параграфе 2.

Можно выделить несколько важных прямых и косвенных эффектов аномальных погодных явлений на здоровье и жизнедеятельность населения [4]. К прямым эффектам относят смерть, увечья, снижение иммунитета и повышенную заболеваемость, вынужденное переселение из одного места жительства в другое в результате погодных катаклизмов, ухудшения в функционировании системы здравоохранения, потерю доступа к чистой воде, еде и жилью и т. п. В табл. 6.1 приведены прямые эффекты некоторых аномальных погодных условий на здоровье населения, которые подтверждены существующей экономической и эпидемиологической литературой.

К косвенным эффектам аномальных природных явлений относят небезопасные для жизни и здоровья условия, вызванные аномальными природными явлениями и связанные с разрушением или перерывами в работе необходимой инфраструктуры и функционировании системы здравоохранения, изменениями очагов распространения инфекций, временным или

постоянным переселением, потерей собственности, ухудшением качества жизни, стрессом и т. п. [4].

Таблица 6.1

<b>Прямые эффекты аномальных погодных явлений<sup>1</sup></b>	
<b>Аномальное погодное явление</b>	<b>Эффекты на здоровье и систему здравоохранения</b>
Аномально высокая температура воздуха	Обезвоживание, тепловой удар, повышение риска сердечно-сосудистых и респираторных заболеваний и смерти от них
Аномально низкая температура воздуха	Переохлаждение, переломы в результате падений, повышение риска сердечно-сосудистых и респираторных заболеваний и смерти от них
Аномальная осадочность и наводнения	Загрязнение источников питьевой воды, распространение инфекций, физические увечья, смерть от утопления, психические расстройства
Ураганы	Смерть, физические увечья, ухудшение функционирования системы здравоохранения, ухудшение качества воды, распространение инфекций

Данная глава посвящена анализу влияния аномально высоких и низких температур воздуха на заболеваемость и смертность. Исследование влияния наводнений, засух, ураганов и других природных катаклизмов остается вне рамок данной работы и могут служить направлением дальнейших исследований.

Стоит отметить, что активное изучение влияния климатических и погодных изменений на здоровье и смертность началось с 70-х гг. XX в. прежде всего в рамках эпидемиологических исследований. Такие исследования предполагают изучение влияния температуры воздуха на заболеваемость и/или смертность в определенном городе или регионе статистическими методами [5]. Большинство эпидемиологических исследований направлено на изучение влияния волн тепла, то есть нескольких после-

<sup>1</sup> Составлено авторами на основе [4].



довательных жарких дней, на заболеваемость и/или смертность. Существуют также исследования, посвященные изучению влияния холодных дней, однако такие исследования редки и часто показывают результаты, которые сложно обобщить из-за различий в климатических условиях и температурах, считающихся холодными и чрезмерно холодными в разных регионах<sup>2</sup>.

В качестве примеров эпидемиологических исследований влияния жарких температур («волн жары» или тепловых волн) приведем исследование, проведенное во время волны жары в Лондоне в июне-июле 1976 г. [8]. Авторы отмечают положительную корреляцию между экстремальной жарой, при которой максимальная дневная температура достигала 35 °C, и смертностью от сердечно-сосудистых заболеваний. По результатам данного исследования, смертность в дни с повышенной температурой воздуха примерно в два раза выше смертности в дни с температурой 17 °C. Эту взаимосвязь подтверждает и экспериментальное исследование, проведенное автором и посвященное анализу влияния экстремально высоких температур (41 °C) на медицинские показатели группы добровольцев, в числе которых восемь студентов в возрасте от 18 до 25 лет. Результаты исследования показывают, что во время повышенной температуры воздуха отмечается повышение температуры тела, частота пульса, повышение кровяного давления и скорость циркуляции крови. Как заключают авторы, данные изменения в организме могут вести к повышенному риску смерти от сердечно-сосудистых заболеваний.

К похожему выводу о влиянии жарких температур на здоровье приходят и авторы других эпидемиологических исследований (например, см. исследования на основе данных из Валенсии, Испания [9]; Стокгольма, Швеция [10]; Нидерландов [11]). Более того, показано, что волны жары в 2003 г. привели к большей смертности среди женщин, чем мужчин [12].

В 2010 г. в западной части России было одно из самых жарких лет с 1500 г. [13]. Последствием такой аномальной погоды стало то, что волны этого лета спровоцировали около 10 000 смертей в Москве с июля по август 2010 г. [14]. Как отмечает отчет Межправительственной комиссии по изменению климата, аномальная жара 2010 г. и ее последствия для здоровья пока изучены недостаточно [3].

---

<sup>2</sup> Детальные обзоры экономической и эпидемиологической литературы по теме влияния внешних температур на здоровье и смертность приведены в работах [5–7].

Примерами эпидемиологических исследований по изучению влияния холодных температур служат работы по изучению смертности в зимнее время в г. Екатеринбурге в 1995–1996 гг. и г. Якутске в 1989–1995 гг. [15, 16]. В каждом городе авторами данных исследований был проведен опрос 1 000 человек старше 50 лет. В обоих городах изучалось влияние холодной внешней температуры воздуха на дневную смертность от всех причин, от сердечно-сосудистых заболеваний и от респираторных заболеваний. Кроме того, анализировалось также влияние внешней температуры на другие факторы, такие как физическая активность и озноб на открытом воздухе, ношение теплой одежды, отопление помещений. Результаты опросов показывают, что во время холодной температуры респонденты активно используют превентивные защитные меры (ношение теплой одежды, физическая активность, достаточное отопление помещений). Это позволяет снизить озноб и замерзание. Как заключают авторы, такие превентивные меры объясняют также и то, что эффект холодных температур (от 0 до  $-48^{\circ}\text{C}$  в г. Якутске и до  $-29^{\circ}\text{C}$  в г. Екатеринбурге) на смертность выявлен не был, в то время как исследования на основе данных из европейских городов показывают рост смертности от сердечно-сосудистых и респираторных заболеваний при температурах ниже  $18^{\circ}\text{C}$  [17].

Недостатком эпидемиологических исследований является фокус анализа только на одном конкретном населенном пункте. Как следствие, результаты не всегда могут быть обобщены и использованы для экономической политики в других населенных пунктах и регионах. Также на основе эпидемиологических исследований редко можно оценить эффекты влияния погодных явлений в рамках страны в целом. С начала 2000-х гг. данную исследовательскую нишу начали занимать экономические исследования. В настоящее время существует несколько экономических исследований, посвященных анализу влияния аномальных погодных явлений на здоровье и жизнедеятельность человека. Большинство из существующих исследований проведены на основе данных по США (например [18–20]), в то время как другие регионы и климатические зоны мира исследованы мало. Так, кроме работ по США, существуют исследования на основе данных из Индии [21] и исследования авторов данной главы на основе данных из России [22, 23]. Исследования по России особенно важны из-за возможности анализа нескольких климатических зон и влияния широкого спектра температур воздуха. В параграфе 4 основные результаты и особенности анализа данных России будут рассмотрены более детально.

Остановимся на некоторых исследованиях подробнее. Одна из первых работ в данной области рассматривает влияние аномальных температур на смертность в США [19]. Используя ежедневные данные о смертности, температуре воздуха и осадках за период 1972–1988 гг. в округах США, на основе эконометрической модели авторы приходят к выводу, что и дни с аномально высокой температурой (среднесуточной температурой выше 80 °F, то есть примерно 26,7 °C) и дни с аномально низкой температурой воздуха (среднесуточной температурой ниже 20 °F, то есть примерно –6,7 °C) повышают смертность. Результаты показывают, что один день с аномально высокой температурой воздуха повышает смертность мужчин на 0,08 смертей на 100 тыс. человек в день, а смертность женщин – на 0,10 смертей на 100 тыс. человек в день, однако это влияние является краткосрочным и исчезает через три дня после дня с высокой температурой. Авторы отмечают, что несмотря на то, что изначальный эффект холодных температур на смертность ниже эффекта высоких температур, влияние холодных температур является более опасным для жизни человека. Это связано с тем, что пик влияния холодных температур приходится на второй и третий день после дня с аномально холодной температурой, но может длиться до 10–15 дней после холодного дня, то есть суммарно приводит к большему количеству смертей, чем один день с высокой температурой воздуха. Авторы заключают, что данные результаты важны для экономической политики: миграция из холодного региона в теплый позволит повысить среднюю продолжительность жизни из-за меньшего воздействия холодных температур.

Недостатком использования дневных данных о смертности является то, что невозможно учесть возможную адаптацию людей к высоким и низким температурам, так как оценивается только краткосрочный эффект температур на смертность [20]. Чтобы получить долгосрочные оценки влияния температур на смертность, было предложено использовать ежегодные данные о смертности в сочетании с дневными данными о погодных условиях [20]<sup>3</sup>. На основе данных о смертности и погоде в округах США за 1968–2002 гг. авторы приходят к выводу, что при среднесуточной температуре выше 90 °F (примерно 32,2 °C) годовая смертность повышается на 0,11 %, а при температуре ниже 20 °F (примерно –6,7 °C) – на 0,08 % по сравнению с сутками со средней температурой 50–60 °F (то есть

---

<sup>3</sup> Методологические особенности эконометрического моделирования дневных и годовых данных о смертности будут рассмотрены в параграфе 3 данной главы.

10–15,6 °C). Эти результаты говорят о значительном влиянии температуры на смертность, однако, согласно недавнему исследованию на основе данных США за период 1900–2004 гг., население может адаптироваться к влиянию высоких температур благодаря распространению кондиционеров [18].

Приведенные выше экономические исследования проведены на основе данных США. Недавние исследования используют и данные других стран. Например, исследование на основе данных Индии показывает, что сутки со средней температурой 97 °F (36,1 °C) повышают смертность на 0,75 % по сравнению с сутками со средней температурой 70–72 °F (21,1–22,2 °C) [21]. Авторы данной главы провели исследования влияния температур воздуха на смертность в Российской Федерации [22, 23]. Отличительной особенностью этих исследований является использование при анализе более широкого спектра среднесуточных температур воздуха (от –60 до 35 °C). Результаты показывают, что и низкие, и высокие температуры воздуха оказывают значительное влияние на смертность населения России, но, хотя экономические издержки от температурных шоков высоки, важным результатов является возможность адаптации к температурным шокам в регионах, часто испытывающих данные шоки.

## **§2. Теоретические основы и эмпирические подходы к моделированию воздействия климата на индикаторы здоровья населения и параметры экономического и социального развития на микро- и макроуровнях**

На основе анализа современной экономической и эпидемиологической литературы нами выделено несколько подходов к пониманию механизма влияния климатических факторов на индикаторы здоровья и экономической активности населения [5–7]. К основным подходам можно отнести (1) механический, (2) биологический (физиологический), а также (3) поведенческий.

При *механическом* подходе экстремальные погодные явления и природные катастрофы, такие как чрезмерно высокие и низкие температуры, землетрясения, наводнения, засухи, цунами и т. п., наносят прямой ущерб жизни и здоровью человека, социально-экономической системе и природной среде [24]. Ущерб для жизни и здоровья людей связан с нарушениями здоровья, социальными потерями, сокращением продолжительности жиз-

ни [24]. Ущерб социально-экономической среде «состоит в утрате того или иного вида собственности, затратах на переселение людей, выплатах компенсаций пострадавшим, упущенной выгоде от незаключенных и расторгнутых контрактов, нарушении процесса нормальной хозяйственной деятельности, ухудшении условий жизнедеятельности людей и т. д.» [24]. Ущерб природной среде (экологический ущерб) состоит в ухудшении природной среды, потере ее ценности для жизни и деятельности человека, а также затратах на восстановление природной среды.

В зависимости от величины ущерба выделяют три вида природных катастроф: «катастрофы тренда», «катастрофы экстремума» и «катастрофы срыва» [25].

К *катастрофам тренда* можно отнести повышение уровня моря, а также глобальное потепление. Такие изменения природных условий устойчивы, но ущерб от них относительно легко прогнозируем, поэтому разработка и осуществление превентивных мер, например, создание защитных сооружений, применение современных технологий и т. п. позволяют значительно снизить жертвы среди населения.

К *катастрофам экстремума* можно отнести чрезвычайно низкие и высокие температуры, наводнения, засухи, заморозки и т. п. Такие изменения погодных условий могут быть нетипичными для региона, в котором они происходят, и потому сложны в прогнозировании и могут приводить к значительной гибели людей и потерям экономики. Для снижения ущерба от таких катастроф проводят превентивные мероприятия в сочетании с мерами по ликвидации последствий.

К *катастрофам срыва* относят землетрясения, извержения вулканов, лавины, торнадо, ураганы и т. д. Такие катастрофы приносят наибольший ущерб жизни и деятельности человека и природной среде, однако превентивные мероприятия, например, строительство зданий из устойчивых материалов и своевременное информирование населения о правилах поведения в чрезвычайных ситуациях, позволяют снизить ущерб.

Вторым подходом в изучении влияния погодных явлений на жизнь и здоровье человека является *биологический* или *физиологический*. Климатические факторы влияют на многие системы человеческого организма как напрямую, так и опосредованно. Примером опосредованного влияния может быть влияние через загрязнение окружающей среды. В частности, повышение температуры окружающей среды может приводить к росту

уровня загрязнений, который снижает иммунные функции организма, увеличивает чувствительность к инфекциям, передающимся воздушно-капельным путем, и может приводить к развитию астмы [26].

Наиболее важным непосредственным биологическим механизмом влияния температуры окружающей среды на здоровье человека является *терморегуляция* [27]. При повышении или понижении температуры окружающей среды относительно комфортного для жизнедеятельности человека уровня запускаются процессы терморегуляции, заключающиеся в изменении сердцебиения, давления и скорости циркуляции крови, сужении бронхов, ознобе [5, 27]. По результатам эпидемиологических исследований, зимняя температура  $-20-23\text{ }^{\circ}\text{C}$  и летняя температура  $22-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  являются наиболее комфортными для человека, а температуры окружающей среды выше или ниже этих интервалов увеличивают риски респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний и смерти от этих заболеваний [28]. Среднесуточная температура воздуха выше  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  считается экстремально высокой. Что касается низких температур, в литературе нет единого понимания, какую температуру считать экстремально низкой. В зависимости от региона разные исследователи принимают разную температуру за экстремально низкую, и интервал температур, принимаемых за экстремально низкие, может варьироваться от  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  и ниже в России до  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  в Индии [21, 22].

В литературе особо выделяется так называемый «эффект преждевременной смерти». Этот эффект заключается в том, что во время аномальной жары увеличивается смертность среди людей с сердечно-сосудистыми и другими хроническими заболеваниями, особенно старшего возраста [5, 19]. Эти группы характеризуются более высоким риском смерти по сравнению с основным населением, и этот риск увеличивается во время дней с температурой окружающей среды выше комфортных для человека лимитов. Стоит отметить, что в соответствии с эпидемиологическими и экономическими исследованиями для жизни и здоровья человека особо опасными являются волны холода и тепла, то есть несколько последовательных дней с экстремально высокой или низкой температурой, а не только один день с такой температурой [5, 23]. Волны тепла и холода увеличивают риски преждевременной смерти среди лиц с сердечно-сосудистыми и другими хроническими заболеваниями.

Терморегуляционная реакция человеческого организма на высокую и низкую температуру внешней среды связана с выработкой гормонов

стресса при некомфортных температурах [29]. Эти гормоны включают адреналин, норадреналин и тестостерон. Выработка этих гормонов при некомфортных условиях внешней среды является естественной реакцией человеческого организма и позволяет защитить себя от гипо- и гипертермии. Из-за гормональных различий и различий в терморегуляции мужчины и женщины могут реагировать на повышенную и пониженную температуру воздуха по-разному [23, 30].

Третьим механизмом влияния температуры окружающей среды на человека является *поведенческий*. Этот механизм наиболее четко проявляется при изучении разного воздействия температуры на мужчин и женщин, а также людей разных возрастных групп [23]. У мужчин и женщин, как правило, разный стиль жизни, диеты и физической активности, например, мужчины чаще курят и употребляют алкоголь, работают на опасных работах и на открытом воздухе, нечасто обращаются в медицинские учреждения в профилактических целях. Это приводит к тому, что мужчины более подвержены риску сердечно-сосудистых заболеваний [31]. Соответственно, при аномально высоких и низких температурах окружающей среды мужчины находятся в группе риска смерти от этих заболеваний [23].

Влияние экстремальных температур на здоровье и смертность отражается также и на экономической активности человека, и на его производительности труда. Для изучения влияния температуры на распределение времени на трудовую активность и отдых индивиды могут быть разделены на три группы [32]. К первой группе относятся работники, защищенные от влияния температур воздуха, то есть работающие в основном внутри помещений (группа низкого риска воздействия температур). Ко второй группе относятся работники, занятые на открытом воздухе (группа высокого риска воздействия температур), а третья группа состоит из неработающих.

По результатам исследования на основе данных о погодных условиях и занятости, в США во время дней с аномальной жарой (при дневной максимальной температуре выше 37 °C) группа высокого риска работает на 1 час меньше по сравнению с днями с максимальной дневной комфортной температурой (25 °C) [32]. В целом в дни с максимальной дневной температурой выше 29 °C в группе высокого риска работники склонны перераспределять время работы на открытом воздухе в пользу отдыха в помещении, что приводит к снижению производительности труда в таких отраслях экономики, как сельское хозяйство, строительство,

добыча природных ресурсов, транспорт и коммуникации, в то время как производительность в группе низкого риска не меняется. Это может быть связано использованием кондиционеров при работе внутри помещения. Экстремальная жара снижает и время отдыха на открытом воздухе (на 22 минуты по сравнению с днем с максимальной температурой 25 °C). Такие изменения во времени труда и отдыха на открытом воздухе связаны адаптационным поведением человека для снижения вреда высокой температуры воздуха на его здоровье [20, 32]. Следствием такого механизма является снижение экономического роста, особенно в бедных странах, где структура экономики тесно связана с занятостью в отраслях высокой группы риска и редким использованием кондиционеров [2].

Таким образом, влияние погодных условий и климатических изменений на здоровье и экономическую активность человека обусловлено взаимосвязью нескольких механизмов, ведущих в риск повышенной смертности и снижению экономического роста из-за дней с экстремально высокой температурой. Влияние экстремально низких температур пока исследовано мало. Это связано прежде всего с разным определением понятия «экстремально низкая температура» в разных регионах. Исследования на основе данных США показывают, что температуры ниже  $-17^{\circ}\text{C}$  повышают смертность [33], в то время как в России смертность повышается при температурах  $-25$ – $-30^{\circ}\text{C}$ , но снижается при температурах ниже  $-30^{\circ}\text{C}$ , что связано с менее рискованным поведением во время низких температур, например, ношением более теплой одежды или меньшей длительностью пребывания на открытом воздухе [22].

### **§3. Эмпирические подходы к моделированию воздействия климата на индикаторы здоровья населения и к оценке социально-экономических последствий меняющегося климата**

В этом параграфе мы рассмотрим особенности подготовки погодных данных для анализа, а также последующего эконометрического моделирования влияния погодных данных на смертность и экономической оценки получаемого эффекта.

Погодные индикаторы, такие как температура воздуха, количество осадков, атмосферное давление, скорость и направление ветра и пр., представляют собой панельные данные с высокой частотностью. Существуют несколько основных источников таких данных: метеорологиче-



ские станции на Земле, географические ячейки, космические спутники Земли, а также комбинация перечисленных источников данных. Данные метеостанций – наиболее используемый и доступный для исследователей источник погодных данных. Погодные данные собираются метеорологическими станциями ежечасно или с частотой раз в три часа. Для более точного измерения погоды в каждой стране расположено большое количество метеостанций, работающих в непрерывном режиме в течение многих лет. Например, в России насчитывается более 500 метеостанций. Измерения с большинства метеостанций России производятся уже более 50 лет, а по США данные существуют более чем за сто лет. Стоит, однако, учитывать, что закрытие одних метеостанций и открытие других – довольно частое явление, особенно в бедных странах [6]. Данную особенность стоит учитывать при анализе, чтобы избежать систематических ошибок измерения. Например, если станции в жарких регионах страны часто закрываются, то средние температуры, получаемые по данной стране, учитывают больше измерений их холодных регионов, что приводит к систематическому занижению измеряемой температуры воздуха в данной стране. Если открытие и закрытие станций коррелирует с объясняемой переменной, при эконометрическом анализе могут быть получены смещенные результаты.

Помимо данных метеостанций, также часто используются данные ячеек (grid) с высокой размерностью. Использование таких данных может быть особенно оправдано в регионах/странах с низкой плотностью населения, где на единицу площади приходится малое количество метеостанций. Под ячейкой, как правило, подразумевается участок территории размером 0,5x0,5 градусов или 2,5x2,5 градусов. Для получения таких данных метеорологические индикаторы с наземных станций и/или спутников интерполируются на уровень ячеек с высокой точностью, однако в регионах с небольшим количеством близлежащих наземных метеорологических станций на уровне ячеек также могут возникать ошибки в измерении данных. Кроме того, данные об уровне осадков могут сильно варьироваться географически и сезонно. Интерполировать данные станций на уровень гридов в этом случае приводит к частым ошибкам в измерении осадков [6].

Поскольку метеорологические данные представляют собой массив панельных данных большой размерности, для целей экономического и эконометрического анализа часто используются или среднесуточные

(среднемесечные, среднегодовые) индикаторы погоды или максимальные (минимальные) индикаторы каждого дня, месяца или года. Так, с уровня метеостанций данные агрегируют на уровень регионов и районов (как в России) или округов (как в США). Причиной такой подготовки метеорологических данных чаще всего являются цели определенного исследования, а также недоступность экономических индикаторов для анализа на уровне более детальном, чем район, регион или округ/штат.

Существует два основных способа агрегирования погодных данных: использование средневзвешенных погодных данных на единицу площади и средневзвешенных погодных данных на душу населения [6]. Для получения региональных данных при первом методе данные метеостанций взвешиваются по площади территории региона, необходимого для анализа. Поскольку в качестве весов для агрегирования данных этот метод использует географический индикатор – фиксированную площадь территории, это приводит к недостаткам для экономического анализа. С экономической точки зрения при данном методе нельзя разграничить малонаселенные регионы с низкой экономической активностью и густонаселенные регионы с высокой экономической активностью. Из-за данного недостатка исследователями чаще используется второй метод – использование средних погодных данных, взвешенных по численности населения, а не по площади территории региона анализа. Этот метод позволяет учитывать населенность территории и ее использование в экономической деятельности. Если внутри/около региона несколько метеорологических станций, то их данные также взвешиваются по степени удаленности от ближайших населенных пунктов анализируемого региона [34].

При эконометрическом анализе метеорологических данных, прежде всего температуры воздуха и уровня осадков, как правило, разрабатывается эконометрическая модель, в которой погодные данные, а также региональные и временные тренды используются в качестве объясняющих переменных, влияющих на интересующий экономический индикатор или индикатор здоровья населения. Включение каких-либо других экономических переменных в модель обычно приводит к переучету их влияния и проблемам эндогенности, поскольку метеорологические данные коррелируют с множеством экономических индикаторов.

В зависимости от частоты используемых данных выделяют два основных подхода к разработке эконометрической модели. Первый подход был предложен в работе [19] для анализа ежедневных данных. В данном ис-

следовании авторы рассматривали вопрос влияния температуры воздуха на смертность населения, используя ежедневные данные о смертности и температуре за период 1972–1988 гг. в округах США. В упрощенном виде эконометрическая модель, предложенная ими для анализа, приведена ниже.

$$Y_{r dt} = \alpha_r + \sum_{j=0}^J \beta_j T_{r dt-j} + \gamma_{r mt} + \varepsilon_{r dt}, \quad (6.1)$$

где  $r$  обозначает регион,  $d$  – день года,  $m$  – месяц года,  $t$  – год,  $Y$  – анализируемая зависимая переменная, например, ежедневная смертность в каждом регионе в каждом году,  $T$  – среднесуточная температура воздуха,  $\gamma$  – фиксированные эффекты регион/год/месяц. Данные фиксированные эффекты позволяют учитывать в модели различные тренды в анализируемой зависимой переменной, характерные для каждого региона в каждом месяце каждого года. Например, такими трендами могут быть любые изменения в здоровье и/или системе здравоохранения в конкретном регионе,  $\beta$  – оцениваемый коэффициент влияния температуры на смертность, а  $\varepsilon$  – стохастическая ошибка регрессии;  $j$  отвечает за лаги температуры (значения температуры воздуха в предыдущие дни), а  $J$  – общее количество лагов, включенных в эконометрическую модель. Эконометрическая модель оценивается с помощью метода фиксированных эффектов с кластеризацией стандартных ошибок регрессии на уровне региона. Такой метод позволяет учитывать также ненаблюдаемые постоянные по времени фиксированные эффекты на уровне региона.

Данная модель позволяет анализировать влияние температуры воздуха на ежедневную смертность, а также длительность этого влияния, то есть в течение какого периода (в днях) после погодного шока влияние погоды на смертность сохраняется. Если эффекты температуры и лагов температуры статистически значимы, то можно говорить о их влиянии на смертность.

Преимуществом данной модели является возможность оценить, насколько долго длится измеренный эффект температуры, а также сравнить длительность влияния разных температурных шоков. Однако, как отмечают более поздние исследования, например [18, 20], существенным недостатком этой модели является то, что влияние погодных индикаторов на здоровье и жизнедеятельность человека, измеренное в краткосрочном периоде, не учитывает возможную адаптацию к погодным шокам, а также часто показывает только эффекты преждевременной смерти из-за по-

годных шоков, но не помогает в понимании долгосрочного влияния погодных индикаторов. В то же время понимание долгосрочных трендов в данном влиянии важно для проведения мер экономической политики и понимания возможности адаптации к погодным шокам и уменьшения их влияния [18].

Позже была предложена другая эконометрическая модель, позволяющая оценить влияние температур на экономические индикаторы, в том числе здоровье и смертность, избегая влияния краткосрочных эффектов преждевременной смерти и оценивая влияние одного дня с конкретной температурой [20]. Для оценки такой модели используются среднегодовые показатели по анализируемой переменной и ежедневные данные о погоде.

На основе [20] авторами данной главы разработана модель для анализа влияния погодных данных на смертность в России [22]. Эта модель представлена ниже.

$$\ln(Mortality_{rt}) = \beta_0 + \sum_{k=1}^{K=13} \beta_k TempBin_{rt} + \sum_{n=1}^{N=3} \delta_n PrecBin_{rt} + \alpha_r + \gamma_t + \phi Region \times Trend + \varepsilon_{rt}, \quad (6.2)$$

где  $r$  – регион, а  $t$  – год. Объясняющей переменной является среднегодовая смертность в регионе. Для более легкой интерпретации результатов модели используется логарифмирование зависимая переменная. Модель включает 13 так называемых «корзин» температуры и 3 «корзины» осадков. Данные переменные объяснены ниже.  $\alpha_r$  отвечает за ненаблюдаемые постоянные во времени фиксированные эффекты регионов, учитываемые в модели при использовании панельных данных.  $\gamma_t$  – дамми годов, позволяющие учитывать любые изменения, влияющие на смертность и являющиеся общероссийскими, например реформы здравоохранения. Мы также включаем региональные тренды **Region**\***Trend**, позволяющие учитывать региональные особенности, которые могут влиять на смертность.  $\varepsilon$  – стохастическая ошибка регрессии, а  $\beta$ ,  $\delta$ ,  $\phi$  – коэффициенты регрессии.

Остановимся подробнее на методологии формирования корзин температуры и осадков. В каждой из 13 5-градусных температурных корзин собираются дни с температурой воздуха в определенном интервале. Одна из корзин используется в качестве базовой. Например, корзина (0 °C, 5 °C] включает в себя количество дней с данной температурой в каждом ре-

гионе в каждом году. Результаты оценки коэффициентов перед каждой корзиной интерпретируются как влияние одного дня в определенном температурном интервале по сравнению с базовым температурным интервалом, которым считается корзина температур, наиболее комфортных для жизнедеятельности человека. В исследовании [22] в качестве базовой использовалась корзина (20 °C, 25 °C). Аналогичным образом считаются корзины осадков (в мм). Одна из корзин осадков также является базовой.

Особенностью анализа российских данных является наличие широкого спектра температур и региональных экономических индикаторов, измеренных по унифицированной методологии. Так, использование российских данных позволяет оценивать влияние среднесуточных температур от –35 °C и ниже до +35 °C и выше, то есть по сравнению с другими исследованиями появляется возможность анализа влияния как аномально высоких температур, так и аномально низких. Более того, регионы России находятся в нескольких климатических зонах, что также позволяет разграничивать регионы с преимущественно низкими температурами и регионы с преимущественно высокими температурами. С этой точки зрения наиболее интересным является анализ погодных шоков, то есть нетипичных температур, на здоровье населения региона (аномально высоких температур в регионах с холодным климатом и аномально низких температур в регионах с жарким климатом), а также адаптацию здоровья населения к температурам, которые встречаются в определенном регионе часто.

После эконометрической оценки параметров модели важно рассчитать экономический эффект влияния температур. Эконометрическая модель позволяет рассчитать, как изменяется смертность от того, что дней с определенной температурой становится больше, то есть можно рассчитать на сколько увеличится количество смертей. Далее производится экономическая оценка этого изменения в смертности. В качестве методов такой экономической оценки можно выделить два: метод недополученных доходов из-за смерти человека в экономически активном возрасте [22] и метод потерянных трудо-годов [23]. Первый метод основан на подсчете текущей стоимости недополученных заработков, связанных с риском смерти, появляющимся из-за влияния температурных шоков. Для подсчета используются данные о размере влияния температурного шока на смертность, о средней заработной плате и экономической активности в данном регионе, а также о количестве лет, оставшихся до выхода на пенсию в каждой возрастной группе (подробнее о данном методе см. в [22]). Второй метод

рассчитывает количество лет, которое человек мог бы проработать, если бы не был подвержен риску смерти от влияния температурных шоков (подробнее о данном методе см. в [19, 23]). Использование данных методов позволяет рассчитать, насколько масштабными могут быть потери социально-экономической системы от температурных шоков.

Прежде чем перейти к анализу существующей литературы по данной тематике, кратко остановимся на различных сценариях, на основе которых были произведены расчеты. Описание всех сценариев основано на методологии, предложенной Межправительственной комиссией по изучению климата (IPCC)<sup>4</sup>. Также стоит упомянуть, что различные исследования использовали различные статистические подходы, описание которых остается за рамками данной главы.

Существует несколько основных сценариев развития социально-экономических систем в условиях меняющегося климата. Данные сценарии имеют общепринятые в литературе обозначения: A1, A2, B1, B2. Остановимся на каждом из этих сценариев подробнее.

*Сценарий A1* характеризуется быстрым экономическим ростом и ростом населения до середины XXI в., а также активным внедрением новых и эффективных технологий. Основой этого сценария является сближение (convergence) экономических параметров различных регионов мира и уменьшение разницы в доходах. В рамках сценария A1 выделяется несколько подсценариев, в числе которых подсценарий с интенсивным использованием ископаемых источников топлива (A1FI), с использованием неископаемых источников топлива (A1T), а также комбинация этих двух подсценариев (A1B).

*Сценарий A2* подразумевает гетерогенный мир и основывается на самообеспеченности и сохранении локальной идентичности разных регионов мира. При данном сценарии рост населения постоянен, а экономическое развитие концентрируется на региональном уровне, что приводит к тому, что экономический рост и технологические изменения более фрагментированы и медленны, чем в других сценариях.

*Сценарий B1* характеризуется сближающимся (convergent) миром с населением, которое возрастает до середины XXI в. и постепенно снижается во второй половине XXI в., как и при сценарии A1. Особенностью этого сценария являются быстрые изменения в структуре социально-экономических систем, связанные с активным развитием сектора услуг и

---

<sup>4</sup> Более подробное описание сценариев см. в [35].

ИТ-технологий, использованием технологий производства с меньшей ресурсоинтенсивностью, не загрязняющих окружающую среду, и ресурсо-экономных. Основной особенностью этого сценария является глобальное решение в пользу устойчивости социально-экономических систем и окружающей среды, снижение неравенства, но без дальнейших соглашений в области климата.

*Сценарий B2* основывается на локальных решениях экономических и социальных проблем, а также проблем, связанных с окружающей средой. Население Земли возрастает, но с меньшей скоростью, чем при сценарии A2, при умеренном экономическом росте и менее быстром и более диверсифицированном технологическом развитии, чем при сценариях A1 и B1. Это сценарий рассчитан на локальную и региональную защиту окружающей среды и социального равенства.

Существует и еще более дробное деление подгрупп сценариев. Например, A1B может быть разделен на подсценарии с верхней или с нижней границей допустимого выброса парниковых газов<sup>5</sup>. В данной главе мы не анализируем более мелкие подгруппы сценариев, и оба сценария будут обозначаться как A1B.

Как видно на рис. 6.1, выброс антропогенных парниковых газов с 1990 по 2010 г. больше всего достигается при сценариях при экономическом развитии за счет ископаемых видов топлива (A1FI) и при гетерогенном развитии, основываясь на самообеспеченности и сохранении локальной идентичности (A2). При этом на всех графиках для обоих сценариев, кроме  $SO_2$ , не наблюдается снижения выбросов. При наиболее сбалансированном сценарии экономического развития (A1B), при котором предполагается комбинация ископаемых и неископаемых видов топлива, мы видим снижение всех видов парниковых газов. Также и при сценарии B2, связанном с умеренным ростом экономического развития, менее быстрым и более диверсифицированным технологическим развитием, чем при B1 и A1 происходит снижение парниковых выбросов на промежутке 2050 до 2100 г. В то время как B1 показывает постепенное увеличение выбросов всех парниковых газов, кроме  $SO_2$ . В итоге можно заключить, что при проекциях экономического развития по всем группам A1, включая подгруппы, и A2 мы видим наибольший выброс парниковых газов.

---

<sup>5</sup> Сценарий A1B с верхней границей допустимого выброса парниковых газов может обозначаться как агрессивный.

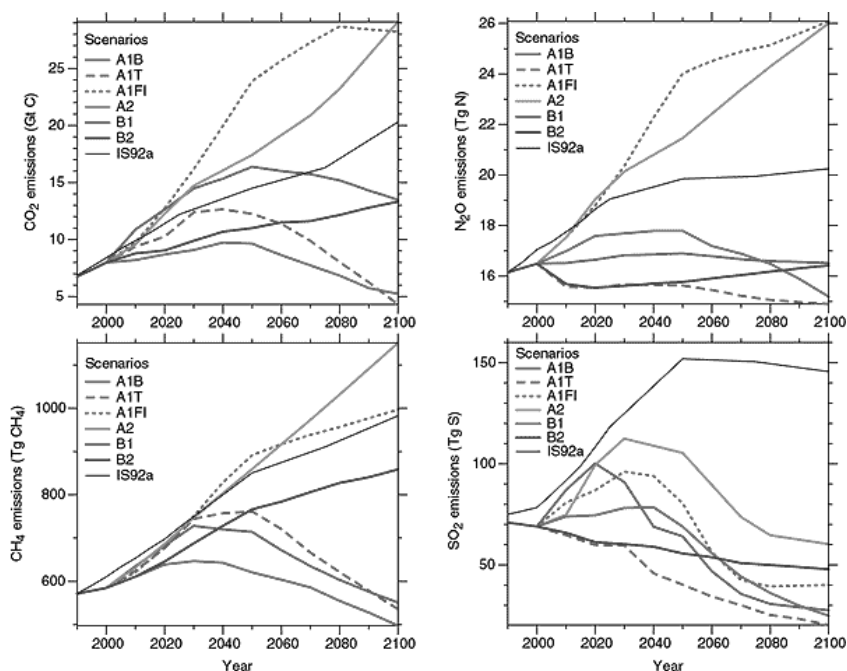


Рис. 6.1. Антропогенные выбросы CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> и SO<sub>2</sub> в атмосферу при различных сценариях [35]<sup>6</sup>

В докладе метеорологического офиса «Хедли-центра», Великобритания, был сделан обзор научной литературы по прогнозам развития климатических изменений более чем в 20 странах, включая Россию [36]. В соответствии с этим докладом, если развитие социально-экономических систем будет происходить согласно сценарию A1B, в арктических регионах России к 2100 г. температура возрастет на 5,5 °C по сравнению с средней температурой в 1960–1990 гг. В центральной части страны температура также возрастет на 4,5–5,5 °C, а в южных и западных регионах – на 3,5–4 °C. В то же время осадки увеличатся на 10–20 % на всей территории России, кроме Кавказа, где уровень осадков будет варьироваться в интервале от –5 до 5 % по сравнению с уровнем 1960–1990 гг.

Климатической особенностью России является наличие низких и высоких температур, причем последние встречаются все чаще, несмотря на

<sup>6</sup> Сценарий IS92a не анализируется, так как вероятность его исполнения мала.



относительно короткое лето. Также ожидается увеличение количества дней с аномально низкой и высокой температурой в регионах, для которых такие температуры были раньше нетипичны [1]. Например, в августе 2006 г. в южной части России температура воздуха доходила до 37–43 °С, летом 2008 г. – до 36–40 °С, в то время как в Западной Сибири в январе 2008 г. температура воздуха достигла –58,5 °С [37, 38].

#### *Сельскохозяйственный сектор*

Из-за обширной площади России и использования различных статистических моделей прогнозы, связанные с влиянием изменения климата на сельское хозяйство России, очень разнятся в исследовательских работах. Исследователи из метеорологического офиса «Хедли-центра», Великобритания, подчеркивают, что все прогнозы отличаются от друг друга, и выделяют несколько причин данных различий.

Во-первых, различные исследования используют статистические модели, основанные на различных допущениях.

Во-вторых, часто модели не учитывают аномальные события, такие как высокие температуры, засухи и наводнения. В частности, с такими природными явлениями могут быть связаны различные заболевания сельскохозяйственных культур, влияющие на их урожайность. Также многие прогнозы не учитывают использование пестицидов.

В-третьих, ученые утверждают, при высоком уровне агрегирования, например на уровне федеральных округов или страны в целом, прогнозы становятся малореалистичными, так как даже внутри регионов плодородность почв очень разнится.

В-четвертых, существует высокая неопределенность, связанная с возрастающими выбросами CO<sub>2</sub> и, соответственно, с влиянием этого явления на продуктивность всего сельскохозяйственного сектора.

Большинство работ, основанных на данных национального и регионального масштаба, показывают снижение урожая. Например, в соответствии с одним из прогнозов, при различных сценариях (A1-B2, включая все подгруппы) урожаи пшеницы и кукурузы в России уменьшатся на 3,29–7,48 % и 8,29–12,48 % к 2050 г. и на 0,41–5,82 % и 9,99–15,07 % к 2080 г., соответственно, по сравнению с урожаем 1970–2000 гг. [39]. Согласно другим прогнозам, урожаи пшеницы и кукурузы к 2030 г. уменьшатся на 0–10 % и 0–8 %, соответственно, при сценариях A2 и B1 [40]. Также урожаи уменьшатся в 2020-х и 2070-х гг. [41].

По прогнозам Межправительственной комиссии по изменению климата, в некоторых регионах можно будет наблюдать положительный эффект изменения климата на урожайность в регионах в высоких широтах, включая регионы России [42]. Повышение урожайности в этих регионах будет связано с более длительными благоприятными сезонами, увеличением продолжительности светового дня и с расширенными площадями под сельскохозяйственные культуры. В частности, урожаи пшеницы и кукурузы из-за изменения климата будут возрастать в России [43]. Так, к 2050 г. урожай этих зерновых культур достигнет 100 и 10 млн т, соответственно. Тем не менее авторы также подчеркивают, что в южных регионах России последствия, связанные с изменением климата, могут быть отрицательными [43]. Прогнозы Межправительственной комиссии по изменению климата также подчеркивают, что из-за частых аномальных природных явлений ожидается уменьшение урожая в азиатской части России [3].

#### *Продовольственная безопасность*

В соответствии с планом экономической политики в области продовольствия, принятым на Международном саммите по продовольственной безопасности в 1996 г. при поддержке Организации Объединенных Наций [44], экономическая безопасность «существует, когда все люди, в любое время, имеют физический и экономический доступ к достаточному количеству, безопасной и питательной еде для удовлетворения своих диетических потребностей и пищевых предпочтений для активной и здоровой жизни» [Цит. по: 44]. Выше мы привели краткий обзор литературы по прогнозам урожайности пшеницы и кукурузы для Российской Федерации. Тем не менее, помимо урожая различных видов зерновых, продовольственная безопасность также включает и производительность рыболовства.

В соответствии с одним из прогнозов, средний десятилетний улов в России с 2005 по 2055 г. может возрасти до 20 % при сценарии A1B и до 2 %, если сохранятся выбросы парниковых газов на уровне 2000 г. [45]. Противоположную точку зрения высказывают другие исследователи, беря во внимание последующие 50 лет [46]. Авторы рассчитали индекс уязвимости экономики, связанный с рыболовством, для 132 стран для этого периода. Результаты показывают, что рыболовство в России очень уязвимо к изменениям климата и при сценарии B2 занимает 3-е место по индексу уязвимости.

Одни исследователи, основываясь на сценарии A1, считают, что в последующие 20 лет у России, скорее всего, не будет проблем с продоль-

ственной безопасностью, связанных с изменением климата [47]. Однако существуют и исследования, придерживающиеся другой точки зрения. Например, при сценарии A1B прогнозируется, что к 2050 г. производство урожая в России упадет на 44 % [48], а при сценариях A2 и B2 в 2070-х гг. производство зерна в России в целом упадет, несмотря на то, что в некоторых регионах оно возрастет [41].

Согласно Международному исследовательскому институту продовольственной политики, в качестве важных индикаторов продовольственной безопасности рассматриваются также килокалории, доступные на душу населения в день, и количество голодающих детей в возрасте 0–5 лет. Расчеты по этим индикаторам для 2015, 2030 и 2050 гг. по разным сценариям изменения климата представлены на рис. 6.2 и 6.3 соответственно. На рисунках соответствующий показатель приведен по оси ординат, а сценарии – по оси абсцисс.

Базовые сценарии (*Baseline*) подсчитаны на основе роста валового внутреннего продукта (ВВП), предоставленного Всемирным банком, и среднего темпа роста населения; пессимистичные сценарии (*Pessimistic*) рассчитаны на основе низкого темпа роста ВВП и высокого темпа роста населения, а оптимистичные сценарии (*Optimistic*) – на основе высокого темпа роста ВВП и низкого темпа роста населения. Аббревиатура CSI означает, что сценарии основаны на допущении о сухом и относительно прохладном климате в будущем, а аббревиатура MIR предполагает, что расчеты проведены при допущении о влажном и теплом климате в будущем.

Как видно на рис. 6.2, количество килокалорий на душу населения в день в 2030 г., по сравнению с 2015 г., остается похожим при базовых и оптимистичных сценариях, но снижается при пессимистичном сценарии. К 2050 г. при большинстве сценариев, кроме пессимистичных, мы видим увеличение потребляемых килокалорий.

Менее радужные прогнозы наблюдаются по количеству недоедающих детей в возрасте от 0 до 5 лет (рис. 6.3). Как видно на этом рисунке, при любом сценарии количество недоедающих детей увеличивается в 2030 и 2050 г. по сравнению с 2015 г., а при некоторых сценариях число недоедающих детей увеличивается почти в два раза. Этот индикатор показывает, что продовольственная безопасность может быть серьезной социально-экономической угрозой развития человечества.

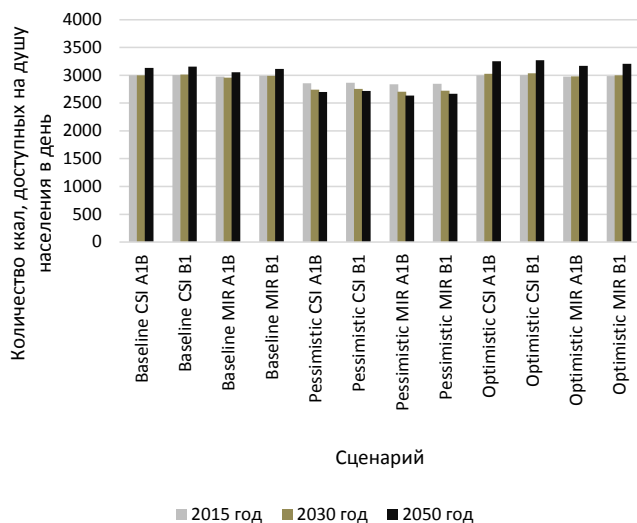


Рис. 6.2. Прогноз по количеству килокалорий при различных сценариях<sup>7</sup>

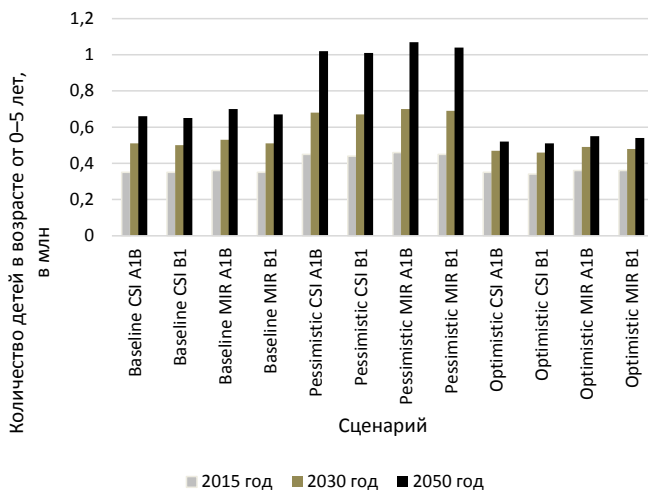


Рис. 6.3. Прогноз по количеству недоедающих детей при различных сценариях<sup>8</sup>

<sup>7</sup> Составлено авторами на основе данных международного исследовательского института продовольственной политики, США [49].

<sup>8</sup> Там же.

*Водная безопасность*

Вода является одним из самых ценных ресурсов, поэтому ее запасы очень важны для жизни на Земле. В докладе Всемирного банка представлены прогнозы по изменению количества осадков в 2030–2049 гг. по сравнению с 1980–1999 гг. при сценарии A1B [50]. Эти прогнозы приведены на рис. 6.4. Часть (а) этого рисунка показывает изменение в количестве последовательных дней без осадков (засушливых днях), часть (b) – изменение в разливах вод, часть (c) – изменение в среднесуточной интенсивности дождя, а часть (d) – изменение в максимальном количестве осадков в течение пяти дней. Белый цвет в некоторых регионах на рис. 6.4 означает, что различные модели показывают противоположные результаты, соответственно, прогнозы для этих регионов не были представлены. Все результаты представлены в процентном соотношении, кроме рис. 6.4a, где результаты представлены в количестве дней.

Как видно на рис. 6.4a, на большей части России (северная и восточная часть) количество дней без осадков уменьшится, в то время как на юге и западе их количество увеличится. Рис. 6.4b показывает, что можно ожидать, что разлив вод увеличится на всей территории России. Стоит упомянуть, что разлив вод является индикатором доступности водного ресурса. Также мы наблюдаем, что среднесуточное количество осадков и их максимальное количество в течение пяти дней возрастет (рис. 6.4c и 6.4d).

Используя сценарий A2, другие исследования также заключают, что доступность водного ресурса не будет проблемой при изменении климата в России в 2070-х гг. [51]. Тем не менее нехватка этого ресурса будет наблюдаться в западной части России. По оценкам доступности водных ресурсов на основе сценария A2, в России этот ресурс будет доступен и будет составлять  $>10\,000\text{ м}^3$  на душу населения в год в 2050 г., что превышает критический барьер в  $1\,300\text{ м}^3$  на душу населения в год [52]. К похожим выводам приходят и другие исследователи, показывая, что из-за изменения климата в следующие 20 лет у большинства федеральных округов России не будет проблем, связанных с водными ресурсами [53].

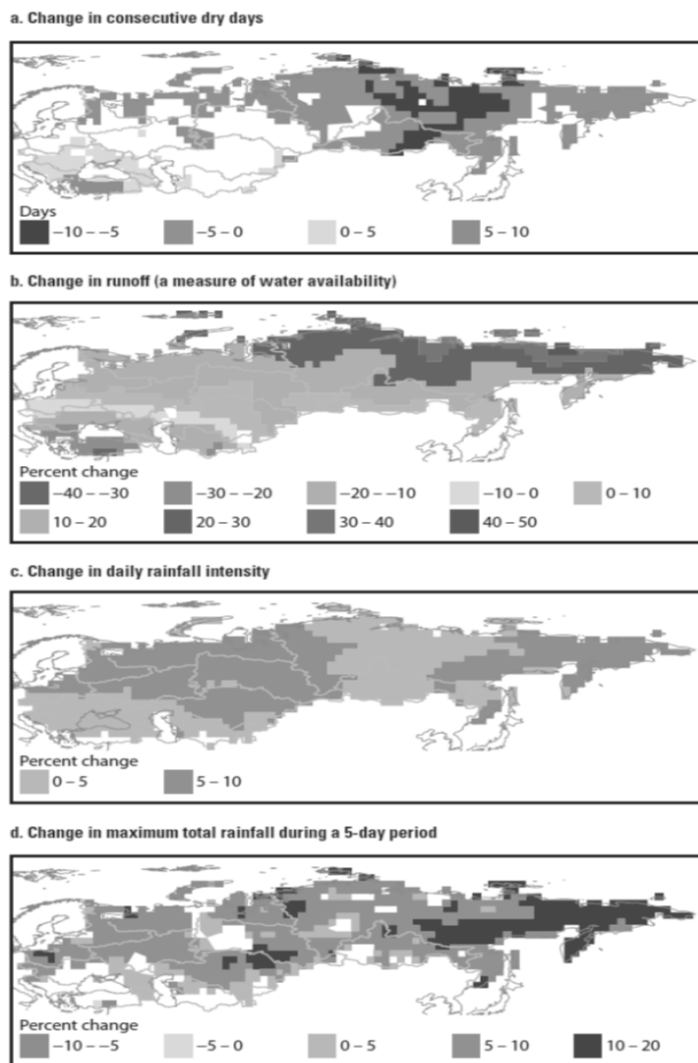


Рис. 6.4. Прогнозы по засушливым дням, разливам вод и осадкам к середине XXI в.: *a* – показано изменение в количестве последовательных дней без осадков (засушливых днях); *b* – изменение в разливах вод; *c* – изменение в среднесуточной интенсивности дождя; *d* – изменение в максимальном количестве осадков в течение пяти дней [50]

*Смертность и здоровье в России*

Авторы данной главы количественно оценивают влияние погодных шоков, как жарких, так и холодных, на общую смертность, а также смертность от болезней сердечно-сосудистой системы и респираторных заболеваний для разных возрастных групп в России, используя региональные данные с 1989 по 2014 гг. [21]. Данное исследование является уникальным, поскольку оценивает не только погодные шоки высоких температур, но и шоки низких температур. До этого *де юре* предполагалось, что холодные температуры всегда приводят к повышенной смертности. Авторы показывают, что, наоборот, при чрезмерно низких температурах воздуха смертность может снижаться. Это связано с поведением индивидов. Так, при аномально холодных температурах (ниже  $-30^{\circ}\text{C}$ ) люди носят теплую одежду и реже выходят на улицу. К таким же выводам приходят авторы тематических исследований в Екатеринбурге и Якутске, обсуждавшиеся выше [15, 16].

Авторы показывают, что высокие температуры (выше  $25^{\circ}\text{C}$ ) и низкие температуры в диапазоне от  $-25$  до  $-30^{\circ}\text{C}$  увеличивают смертность почти всех возрастных категорий, кроме группы от 0 до 19 лет для высоких температур и от 0 до 9 лет, от 20 до 39 лет и от 60 до 69 лет – для низких температур. Основные результаты показаны на рис. 6.5. Черная линия показывает влияние одного дня с температурой выше  $25^{\circ}\text{C}$  на общую смертность различных возрастных категорий, а серая линия показывает влияние одного дня в диапазоне от  $-25$  до  $-30^{\circ}\text{C}$ . Сплошные черные точки относятся к статистически значимым результатам, а пунктирные линии показывают 90 %-й доверительный интервал.

Как видно на рис. 6.5, один день с холодной температурой от  $-25$  до  $-30^{\circ}\text{C}$  увеличивает смертность от всех причин у возрастных групп 40–49 лет, 50–59 лет и выше 70 лет на 0,14; 0,12 и 0,09 %, соответственно. Также на этом рисунке можно увидеть, что один день с высокой температурой (выше  $25^{\circ}\text{C}$ ) увеличивает смертность почти всех возрастных групп, кроме самых молодых. Так, один день с такой температурой увеличивает смертность в возрастных группах 20–29 лет, 30–39 лет, 40–49 лет, 50–59 лет, 60–69 лет и выше 70 лет на 0,07; 0,12; 0,09; 0,08; 0,04 и 0,06 %, соответственно. Авторы подчеркивают, что самая продуктивная и экономически активная возрастная группа является одной из самых уязвимых с точки зрения риска смерти от температурных шоков.

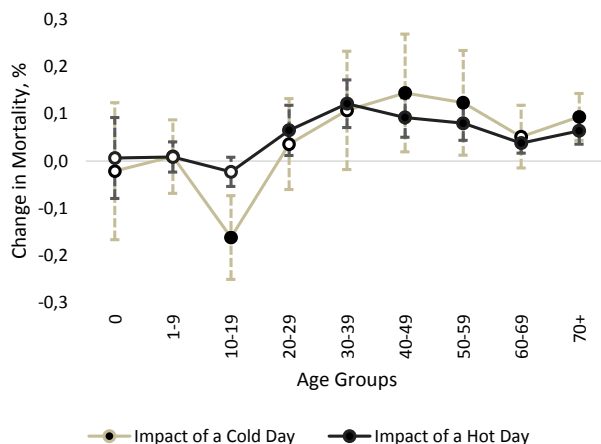


Рис. 6.5. Влияние одного дня с низкой и высокой температурой на общую смертность по возрастным группам [22]

Авторы также приводят подсчеты экономических издержек одного дня с высокой и низкой температурой для трудоспособного населения. Эти издержки включают в себя текущую стоимость упущенных заработков, связанных с риском смертности. В табл. 6.2 представлены подсчеты по количеству смертей из-за одного дня с температурой выше 25 °С. Первая колонка относится к разбивке по возрастным категориям, вторая показывает оцененное количество смертей, а третья – оцененные экономические издержки.

Как видно из показателей табл. 6.2, общее количество смертей из-за одного дня выше 25 °С для всех возрастных категорий составляет 1 305 человек, а рассчитанные экономические издержки из-за смерти трудоспособного населения равны 10,25 млн долларов США.

В табл. 6.3 приводятся подсчеты по количеству смертей из-за одного дня с температурным диапазоном от –25 до –30 °С. Все колонки интерпретируются так же, как и в табл. 6.2. Как можно увидеть из показателей табл. 6.3, общее количество смертей из-за одного дня с температурным диапазоном от –25 до –30 °С равно 1 476 человек, а экономические издержки из-за смерти трудоспособного населения составляют 7,91 млн долларов США.



Таблица 6.2

**Экономические издержки из-за одного дня с температурой выше 25 °С [21].**

<b>Возрастные группы</b>	<b>Оцененное количество смертей</b>	<b>Экономические издержки, в млн долларов США</b>
20–29	41	1,32
30–39	126	3,79
40–49	158	3,53
50–59	227	1,61
60–69	160	-
70 и старше	593	-
Общее количество	1 305	10,25

Таблица 6.3

**Экономические издержки из-за одного дня с температурой от –25 до –30° С [21]**

<b>Возрастные группы</b>	<b>Оцененное количество смертей</b>	<b>Экономические издержки, в млн долларов США</b>
20–29	23*	0,76*
30–39	116*	3,48*
40–49	246	5,49
50–59	340	2,42
60–69	200*	-
70 и старше	890	-
Итого	1,476	7,91

*Примечание:* \* над расчетами в табл. 6.3–6.5 обозначает, что данные расчеты основаны на статистически незначимых результатах.

Далее авторами данной главы рассматривается гендерная разница в смертности, связанной с чрезмерно жаркими и холодными температурами [23]. В отличие от существующих экономических исследований, где изучалось только влияние одного дня на здоровье населения, в этой работе также исследовалось влияние последовательных жарких и холодных дней на смертность обоих полов.

Результаты показывают, что и мужчины, и женщины адаптируются к экстремальным температурам, если такие температуры встречаются ча-

сто. Так, например, высокие температуры и тепловые волны не влияют на смертность мужчин и женщин в теплых регионах, а низкие температуры и их трехдневная последовательность не влияют на смертность обоих полов в холодных регионах России. Авторы также не находят разницы в смертности из-за экстремальных температур между мужчинами и женщинами в этих регионах.

Разница в смертности из-за экстремальных температур существует между мужчинами и женщинами только в тех регионах, которые редко испытывали их [23]. В частности, тепловые волны очень опасны для населения в холодных регионах, особенно для мужчин молодого и среднего возраста, а дни с холодной температурой в холодных регионах опасны для мужчин всех возрастов, кроме 30–39 лет. Такие результаты приводят к выводу о том, что миграция из теплых регионов в холодные и наоборот может увеличить смертность в конечных пунктах назначения.

Основные экономические издержки подсчитаны в качестве потерянных человеко-годов работы из-за смерти человека, вызванной экстремальной температурой [23]. Все подсчеты приведены в табл. 6.4. Таблица разделена на две части. Первая часть отображает влияние одного дня с температурой выше 25 °C на смертность мужчин и женщин в холодных регионах, а вторая часть отображает влияние трех последовательных дней с такой температурой. Также в табл. 6.4 представлены результаты для различных возрастных групп. Колонки (1) и (2) показывают количество смертей женщин и мужчин из-за влияния одного дня либо последовательных дней с температурой выше 25 °C, соответственно. Колонки (3) и (4) показывают общее количество потерянных человеко-часов работы для каждого пола и конкретной возрастной категории. Строка «Потерянные трудовые годы на одну смерть» показывает, сколько лет человек мог бы еще трудиться, если бы не воздействие экстремальной температуры. В первой части таблицы показано, что репрезентативная женщина смогла бы проработать еще 8,11 лет, а мужчина еще 14,29 лет. Во второй части таблицы показано воздействие последовательных дней с аномальной температурой: женщина смогла бы проработать еще 5,78 лет, а мужчина – еще 13,70 лет. В обоих случаях мы наблюдаем, что эффект влияния аномально высоких температур почти в два раза выше для мужчин.

Таблица 6.4

**Количество смертей и потерянные трудовые годы из-за высоких температур в холодных регионах [23]**

Показатель	Возрастные группы	Оцененное годовое количество смертей		Потерянные человеко-годы работы	
		1	2	3	4
Влияние одного дня выше 25 °C		Жен.	Муж.	Жен.	Муж.
	20–29	26	90	676	2,790
	30–39	84	171	1,344	3,591
	40–49	16*	130*	96	1,430
	50–59	144	201	75	651
	60–69	140*	100*		
	70 и старше	267	256		
	Группа 20–59 лет в целом	270	592	2,191	8,462
Влияние последовательных дней выше 25 °C	Потерянные трудовые годы на одну смерть			8,11	14,29
	<b>Возрастные группы</b>	Жен.	Муж.	Жен.	Муж.
	20–29	–1*	19	–26	589
	30–39	19	35	304	735
	40–49	22*	46	132	506
	50–59	34	44*	18	143
	60–69	33	15*		
	70 и старше	122	54		
	Группа 20–59 лет в целом	74	144	428	1,973
	Потерянные трудовые годы на одну смерть			5,78	13,70

В табл. 6.5 приведены расчеты для влияния холодных температур на смертность обоих полов в теплых регионах. Эта таблица интерпретируется так же, как и предыдущая таблица. В первой части таблицы показано, что женщина смогла бы проработать еще 6,43 года, а мужчина – еще 10,13 лет. Во второй части, относящейся к последовательным дням, женщина смогла бы проработать еще 6,66 лет, а мужчина – еще 10,66 лет. Как и с высокими температурами, мы наблюдаем, что эффект влияния экстремальных холодных температур выше для мужчин.

Таблица 6.5

**Количество смертей и потерянные трудовые годы из-за низких температур в теплых регионах [23]**

Показатель	Возрастные группы	Оцененное годовое количество смертей		Потерянные человеко-годы работы	
		1	2	3	4
		Жен.	Муж.	Жен.	Муж.
Влияние одного дня ниже $-23^{\circ}\text{C}$	20–29	33	149	858	4,619
	30–39	102	93*	1,632	1,953
	40–49	166	538	996	5,918
	50–59	262	665	136	2,155
	60–69	83*	337		
	70 и старше	–49*	290		
	Группа 20–59 лет в целом	563	1,445	3,622	14,645
Влияние последовательных дней ниже $-23^{\circ}\text{C}$	Потерянные трудовые годы на одну смерть			6,43	10,13
	<b>Возрастные группы</b>	Жен.	Муж.	Жен.	Муж.
	20–29	13	52	338	1,612
	30–39	30	6*	480	126
	40–49	43	114	258	1,254
	50–59	82	156	43	505
	60–69	52*	96*		
	70 и старше	–47*	514*		
	Группа 20–59 лет в целом	168	328	1,119	3,497
	Потерянные трудовые годы на одну смерть			6,66	10,66

Данный анализ позволяет сделать вывод, что влияние погодных и климатических изменений на жизнь и деятельность человека многогранно и отражается на многих сферах – от распространения различных видов болезней и смертности от них до сельскохозяйственной, продовольственной и водной безопасности. Поэтому формулировании мер экономической политики должно быть нацелено на снижение издержек от климатических изменений и погодных шоков, адаптацию к ним, а также учитывать, что климатические изменения и температурные шоки играют важную роль в жизни современного человека и будут играть все большую роль в жизни будущих поколений.

**Список библиографических ссылок**

1. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Future climate changes, risk and impacts / eds. The Core Writing Team, R. K. Pachauri, L. Meyer. Geneva, Switzerland: IPCC, 2014. P. 56–74.
2. *Dell M., Jones B. F., Olken B. A.* Temperature shocks and economic growth: Evidence from the last half century // *American Economic Journal: Macroeconomics*. 2012. Vol. 4, № 3. P. 66–95.
3. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part B: Regional aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change // Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) / eds. V. R. Barros, C. B. Field, D. J. Dokken, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, L. L. White. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2014. 688 p.
4. *Molloy S. L. L., Dreelin E. A. A., Rose J. B. B.* Extreme weather events and human health // *International Encyclopedia of Public Health*. 2008. P. 536–544.
5. *Basu R., Samet J. M.* Relation between elevated ambient temperature and mortality: A review of the epidemiologic evidence // *Epidemiologic Reviews*. 2002. Vol. 24, № 2. P. 190–202.
6. *Dell M., Jones B. F., Olken B. A.* What do we learn from the weather? The new climate–economy literature // *Journal of Economic Literature*. 2014. Vol. 52, № 3. P. 740–798.
7. *Deschênes O.* Temperature, human health, and adaptation: A review of the empirical literature // *Energy Economics*. 2014. Vol. 46. P. 606–619.
8. Increased platelet and red cell counts, blood viscosity, and plasma cholesterol levels during heat stress, and mortality from coronary and cerebral thrombosis / W. R. Keatinge, S. R. K. Coleshaw, J. C. Easton, F. Cotter, M. B. Mattock, R. Chelliah // *American Journal of Medicine*. 1986. Vol. 81. P. 795–800.
9. Mortality as a function of temperature. A study in Valencia, Spain, 1991–1993 / F. Ballester, D. Corella, S. Pérez-Hoyos, M. Sáez, A. Hervás // *International Journal of Epidemiology*. 1997. Vol. 26, № 3. P. 551–561.
10. *Rocklöv J., Forsberg B.* The effect of temperature on mortality in Stockholm 1998–2003: a study of lag structures and heatwave effects // *Scand. J. Public Health*. 2008. Vol. 36, № 5. P. 516–523.

11. *Kunst A. E., Looman C. W., Mackenbach J. P.* Outdoor air temperature and mortality in the Netherlands: a time-series analysis // *American Journal of Epidemiology*. 1993. Vol. 137, № 3. P. 331–341.
12. Excess mortality related to the August 2003 heat wave in France / *A. Fouillet, G. Rey, F. Laurent, G. Pavillon, S. Bellec, C. Gihenneuc-Jouyaux, J. Clavel, E. Jougl, D. Hémon* // *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 2006. Vol. 80, № 1. P. 16–24.
13. The hot summer of 2010: redrawing the temperature record map of Europe / *D. Barriopedro, E. M. Fischer, J. Luterbacher, R. M. Trigo, R. García-Herrera* // *Science*. 2011. Vol. 332, № 6026. P. 220–224.
14. *Revich B., Shaposhnikov D.* Climate change, heat waves, and cold spells as risk factors for increased mortality in some regions of Russia // *Studies on Russian Economic Development*. 2012. Vol. 23, № 2. P. 195–207.
15. Cold related mortalities and protection against cold in Yakutsk, eastern Siberia: observation and interview study / *G. C. Donaldson, S. P. Ermakov, Y. M. Komarov, C. P. McDonald, W. R. Keatinge* // *BMJ* (ed. Clinical research). 1998. Vol. 317. P. 978–982.
16. Winter mortality and cold stress in Yekaterinburg, Russia: interview survey / *G. C. Donaldson, V. E. Tchernjavskii, S. P. Ermakov, K. Bucher, W. R. Keatinge* // *BMJ* (ed. Clinical research). 1998. Vol. 316, № 2. P. 514–518.
17. The Eurowinter Group Cold exposure and winter mortality from ischaemic heart disease, cerebrovascular disease, respiratory disease, and all causes in warm and cold regions of Europe / *The Eurowinter Group* // *Lancet*. 1997. Vol. 349, № 9062. P. 1341–1346.
18. Adapting to climate change: The remarkable decline in the US temperature-mortality relationship over the 20th century / *A. Barreca, K. Clay, O. Deschênes, M. Greenstone, J. S. Shapiro* // *J. of Political Economy*. 2016. Vol. 124, № 1. P. 105–159.
19. *Deschênes O. Moretti E.* Extreme weather events, mortality, and migration // *The Review of Economics and Statistics*. 2009. Vol. 91, № 4. P. 659–681.
20. *Deschênes O., Greenstone M.* Climate change, mortality, and adaptation: Evidence from annual fluctuations in weather in the US // *American Economic Journal: Applied Economics*. 2011. Vol. 3, № 4. P. 152–185.
21. *Burgess R., Deschenes O., Donaldson D., Greenstone M.* Weather, climate change and death in India // Mimeo, 2017.

22. *Otrachshenko V., Popova O., Solomin P.* Health consequences of the Russian weather // *Ecological Economics*. 2017. Vol. 132. P. 290–306.
23. *Otrachshenko V., Popova O., Solomin P.* Do extreme weather shocks contribute to the gender gap in mortality? // *Mimeo* (version July 4, 2017). 2017.
24. *Беляев Г. Н.* Методы оценки ущерба от техногенных чрезвычайных ситуаций // *Изв. Томск. политех. ун-та*. 2008. Т. 312, № 5. С. 150–152.
25. *Кузнецов И. В., Писаренко В. Ф., Родкин М. В.* К проблеме классификации катастроф: параметризация воздействия и ущерба // *Геоэкология*. 1998. Т. 1. С. 6–29.
26. *Neidell M. J.* Air pollution, health, and socio-economic status: the effect of outdoor air quality on childhood asthma // *Journal of Health Economics*. 2004. Vol. 23, № 6. P. 1209–1236.
27. *Martens W. J. M.* Climate change, thermal stress and mortality changes // *Social Science and Medicine*. 1998. Vol. 46, № 3. P. 331–344.
28. *Burroughs H. E., Hansen-Lilburn S. J.* Managing indoor air quality / ed. 5th. GA: Fairmont Press, 2011.
29. *Simister J., Cooper C.* Thermal stress in the U.S.A.: Effects on violence and on employee behaviour // *Stress and Health*. 2005. Vol. 21. № 1. P. 3–15.
30. Is the association between temperature and mortality modified by age, gender and socio-economic status? / W. Yu, P. Vaneckova, K. Mengersen, X. Pan, S. Tong // *Science of the Total Environment*. 2010. Vol. 408, № 17. P. 3513–3518.
31. *Waldron I.* Sex differences in human mortality: the role of genetic factors // *Social Science and Medicine*. 1983. Vol. 17, № 6. P. 321–333.
32. *Zivin J. G., Neidell M. J.* Temperature and the allocation of time: Implications for climate change // *Journal of Labor Economics*. 2014. Vol. 32, № 1. P. 1–26.
33. *Barreca A. I.* Climate change, humidity, and mortality in the United States // *Journal of Environmental Economics and Management*. 2012. Vol. 63, № 1. P. 19–34.
34. *Hanigan I., Hall G., Dear K. B. G.* A comparison of methods for calculating population exposure estimates of daily weather for health research // *International Journal of Health Geographics*. 2006. Vol. 5, № 38. P. 1–16.
35. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Special report on emissions scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change // Intergovernmental Panel on

Climate Change (IPCC) / eds. N. Nakicenovic, R. Swart. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2000. 608 p.

36. Met Office Hadley Centre Climate: Observations, projections and impacts. Russia / Met Office Hadley Centre – Exeter, United Kingdom, 2011. 138 p.

37. *Bulygina O. N., Korshunova N. N., Razuvaev V. N.* Regional climates. West and Central Asia. In «State of the Climate in 2006» // Bulletin of the American Meteorological Society. 2007. Vol. 88, № 6. P. S94–S97.

38. *Bulygina O. N., Korshunova N. N., Razuvaev V. N.* Regional climates. Russia. In «State of the Climate in 2008» // Bulletin of the American Meteorological Society. 2009. Vol. 90, № 8. P. S153–S155.

39. *Iglesias A., Rosenzweig-Palisades C.* Effects of climate change on global food production under Special Report on Emissions Scenarios (SRES) emissions and socioeconomic scenarios. NY: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC), Columbia University, 2009.

40. *Avnery S., Mauzerall D. L., Liu J., Horowitz L. W.* Global crop yield reductions due to surface ozone exposure: 2. Year 2030 potential crop production losses and economic damage under two scenarios of O<sub>3</sub> pollution // Atmospheric Environment. 2011. Vol. 45. P. 2297–2309.

41. *Dronin N., Kirilenko A.* Climate change and food stress in Russia: What if the market transforms as it did during the past century? // Climatic Change. 2008. Vol. 86, № 1–2. P. 123–150.

42. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2014. 1132 p.

43. Russia's food security and climate change: Looking into the future / S. Kiselev, R. Romashkin, G. C. Nelson, D. M. Croz, A. Palazzo // Discussion Paper. № 2013-16 – Kiel, 2013.

44. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome Declaration on World Food Security // World Food Summit. URL: <http://www.fao.org/docrep/003/w3613e/w3613e00.htm> (дата обращения: 10.08.2017).

45. Large-scale redistribution of maximum fisheries catch potential in the global ocean under climate change / W. W. L. Cheung, V. W. Y. Lam, J. L. Sarmiento, K. Kearney, R. Watson, D. Zeller, D. Pauly // Global Change Biology. 2010. Vol. 16, № 1. P. 24–35.



46. Vulnerability of national economies to the impacts of climate change on fisheries / E. H. Allison, A. L. Perry, M. C. Badjeck, W. Neil Adger, K. Brown, D. Conway, A. S. Halls, G. M. Pilling, J. D. Reynolds, N. L. Andrew, N. K. Dulvy // *Fish and Fisheries*. 2009. Vol. 10, № 2. P. 173–196.
47. Scenario-based assessment of future food security / W. Wu, H. Tang, P. Yang, L. You, Q. Zhou, Z. Chen, R. Shibasaki // *Journal of Geographical Sciences*. 2011. Vol. 21, № 1. P. 3–17.
48. The implications of climate policy for avoided impacts on water and food security / N. Arnell, T. Wheeler, T. Osborne, G. Rose, S. Gosling, T. Dawson, A. Penn, A. Perryman. London: Department for Energy and Climate Change (DECC), 2010.
49. International Food Policy Research Institute Food security CASE maps. URL: <http://casemaps.ifpri.info/files/climatechange/casemaps.html> (дата обращения: 10.08.2017).
50. *Fay M., Block R. I., Ebinger J.* Adapting to climate change in Eastern Europe and Central Asia. World Bank, 2010.
51. A new assessment of climate change impacts on food production shortfalls and water availability in Russia / J. Alcamo, N. Dronin, M. Endejan, G. Golubev, A. Kirilenko // *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions*. 2007. Vol. 17, № 3–4. P. 429–444.
52. Future water availability for global food production: The potential of green water for increasing resilience to global change / J. Rockström, M. Falkenmark, L. Karlberg, H. Hoff, S. Rost, D. Gerten // *Water Resources Research*. 2009. Vol. 45, № 7. P. 1–16.
53. *Shiklomanov I., Babkin V., Balonishnikov Z.* Water resources, their use, and water availability in Russia: Current estimates and forecasts // *Water Resources*. 2011. Vol. 38, № 2. P. 139–148.

## Глава 7

# ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ. ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ

### §1. Теоретические основы организации здравоохранения и общественного здоровья

Целью системы здравоохранения является улучшение состояния здоровья населения, которое оценивается множеством показателей: заболеваемость, смертность и рождаемость, инвалидность, уровень физического развития и т. п. При этом оценка эффективности самой системы здравоохранения стала рассматриваться не так давно, и единый подход не достигнут. В силу крайней значимости этой отрасли экономики оценку ее эффективности проводят ученые, международные организации, а также национальные органы управления. Здоровье нации определяется не только собственно системой здравоохранения (например, своевременная доступность и качественная медицинская помощь), но и рядом социальных и экологических факторов, не входящих в компетенцию системы здравоохранения. Поэтому выделяют два типа детерминант здоровья населения: немедицинские и медицинские детерминанты здоровья [1, с. 134]. Список немедицинских детерминант весьма широк: чистая вода, соблюдение гигиены и санитарии, хорошее питание, физическая активность, уровень экологии, экономики и образ жизни играют значительно более важную роль в достижении результатов, что ограничивает значимость медицинских и клинических услуг 10–25 % эффекта [2, р. 83]. В России вклад различных факторов в здоровье определяется следующим образом: 50–57% – условия и образ жизни людей; 20–25 % – состояние внешней среды; 15–20 % – генетические факторы и 10–15 % состояние системы здравоохранения [3, с. 4]. При комплексном воздействии на здоровье населения санитарно-эпидемиологических мероприятий, медико-санитарного просвещения, профилактической иммунизации и лечения тяжелых заболеваний антибиотиками, влияние системы здравоохранения составит 70–80 % [4, с. 81].

Выделяют несколько уровней здоровья:

- 1 уровень – *индивидуальное здоровье* – здоровье отдельного человека;
- 2 уровень – *групповое здоровье* – здоровье малых и этнических групп;

3 уровень – *региональное здоровье* (здоровье населения) – здоровье людей, проживающих на конкретной административной территории;

4 уровень – *общественное здоровье* – здоровье общества, населения страны, континента, мировой популяции.

*Общественное здоровье* (public health as resource) – это медико-социальный ресурс и потенциал общества, обусловленный комплексным воздействием социальных, поведенческих и биологических факторов, улучшение которого будет способствовать увеличению качества и продолжительности жизни и благополучия людей, гармоничному развитию личности и общества, способствующий обеспечению национальной безопасности [5, с. 9]. *Здоровье населения* (health of the nation) – это медико-демографическая и социальная категория, отражающая физическое, психическое, социальное благополучие людей, осуществляющих свою жизнедеятельность в рамках определенных социальных общностей [5, с. 6].

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) предлагает оценивать популяционное здоровье на основании пяти групп показателей [6].

I. Показатели, относящиеся к политике в области здравоохранения: выделение ресурсов для первичной медико-санитарной помощи на одного жителя; степень равномерности распределения доходов в обществе; уровень участия населения в достижении здоровья; наличие соответствующих органов и управленческих структур здравоохранения.

II. Социально-экономические показатели: уровень прироста населения; валовой национальный прирост; уровень безработицы; адекватность жилищных условий (количество лиц на 1 комнату); выработка энергии на душу населения.

III. Предоставление медицинского обслуживания: наличие медицинского обслуживания; физическая его доступность; экономическая его доступность; культурная доступность (уровень понимания необходимости и кратности профилактических осмотров).

IV. Показатели охвата населения первичной медико-санитарной помощью: санитарное просвещение (индивидуальное и популяционное); обеспечение доброкачественным питанием; обеспечение доброкачественным водоснабжением; охрана здоровья материнства и детства; планирование семьи; иммунизация против инфекционных заболеваний; обеспечение лекарственными средствами; возможности лечения основных заболеваний и травм.

V. Показатели здоровья популяции: доля (в процентах) новорожденных с массой тела менее 2 500 г; доля (в процентах) детей и подростков с массой тела, соответствующей возрастным нормативам; показатели психофизического развития детей и подростков; уровень детской смертности (по возрастным периодам); продолжительность предстоящей жизни; смертность от отдельных заболеваний; материнская смертность; общая заболеваемость и инвалидизация; показатели социальной и интеллектуальной патологии (самоубийства, наркомания, алкоголизм, курение, детская преступность, потребление транквилизаторов и др.).

*Критериями в оценке результатов деятельности системы здравоохранения выступают:*

1. Состояние здоровья населения: ожидаемая продолжительность жизни, смертность, инвалидность и др.
2. Образ жизни населения: распространенность табакокурения, алкоголизма и других социальных патологий.
3. Степень удовлетворения обоснованных нужд населения: права человек, конфиденциальность, персонализация – ориентированность на пациента системы.
4. Справедливость в оплате медицинской помощи и равенства при ее оказании [7, с. 180].

### **Рекомендации Всемирной организации здравоохранения**

*Оценка деятельности системы здравоохранения (ОДСЗ)* – это инструмент укрепления систем здравоохранения, и в частности стратегического руководства системами здравоохранения. В любой сфере жизни общества, а особенно в секторе общественного здравоохранения, считается жизненно важным проводить самооценку. В любом обществе люди время от времени оценивают свою жизнь для того, чтобы улучшить условия своего существования. Осуществляя оценку своей жизни или какой-либо сферы, люди стараются построить для себя более здоровое будущее.

ОДСЗ – это один из множества подходов, который представляет собой оценка деятельности. В ОДСЗ система здравоохранения оценивается в целом, и при этом достигаемые показатели здоровья (как их средний уровень, так и распределения) увязываются со стратегиями или функциями, а число количественных показателей ограничено. С помощью ОДСЗ оценивается степень достижения основных целей систем здравоохране-

ния в разных странах. Развитые системы ОДСЗ используют различные индикаторы и показатели, которые не ограничиваются в своем количестве, а также применяют различные систематизированные совокупности количественных критериев и включают в себя аналитические методики. Результаты этой оценки регулярно доводятся до сведения населения и используются для того, чтобы влиять на процесс принятия решений.

Основной особенностью ОДСЗ является то, что она оценивает всю систему здравоохранения, а не концентрируется лишь на некоторых конкретных программах. Именно в этом заключается важность такого подхода: он позволяет учитывать многочисленные связи и взаимоотношения между разными функциями и программами системы здравоохранения. Поняв, как работает система в целом, можно принимать решения в области политики и устанавливать приоритеты на основе ясных фактических данных, а потом вести мониторинг результатов этих решения.

Оценка деятельности для различных пользователей дает различные полезные результаты:

- для пользователей услуг (потребителей-пациентов) – содействует расширению выбора, прав и возможностей пользователей;
- для медицинских работников – стимулирует улучшение показателей деятельности;
- для аппарата управления – обеспечивает более качественное административное управление службами;
- для политиков – обеспечивает более действенный политический контроль за государственными службами;
- для граждан – подтверждает, что деньги потрачены не напрасно, и обеспечивает подотчетность служб;
- для регулирующих инстанций – позволяет выступать в роли посредников – экспертов от имени граждан;
- для ученых – помогает определить, что дает положительный эффект [8, с. 4].

Основные функции оценки деятельности системы здравоохранения, следующие:

- 1) определение направлений реформ системы здравоохранения и стратегического планирования;
- 2) объединение заинтересованных сторон из разных секторов вокруг стратегических целей системы здравоохранения и налаживание диалога о качестве функционирования системы здравоохранения;
- 3) повышение уровня прозрачности и подотчетности [8, с. 7].

Выполнение этих функций имеет решающее значения для адекватного ответа на возникающие сегодня новые и неотложные проблемы здравоохранения. Ключевая роль оценки деятельности системы здравоохранения получила признание и выражена в ряде официально принятых хартий и деклараций. Улучшение функционирования систем здравоохранения – это один из первоочередных вопросов во всем европейском регионе, особенно в теперешнем экономическом климате, когда чрезвычайно важно добиваться максимальной отдачи от существующих ресурсов. В этом смысле ОДСЗ является методом, получившим признание среди государств – членов европейского региона ВОЗ. В Таллинской хартии 2008 г. «Системы здравоохранения для здоровья и благосостояния» [9, р. 4] вновь была подвержена приверженность государств-членов делу повышения прозрачности и подотчетности системы здравоохранения.

В докладе Всемирной организации здравоохранения «Оценка деятельности систем здравоохранения – инструмент стратегического руководства в интересах здоровья в XXI веке» приведены ответы людей, обладающие практическим опытом применения ОДСЗ о том, что можно делать при помощи ОДСЗ:

- 1) повысить прозрачность системы здравоохранения в отношении результатов ее деятельности и достигаемого ею прогресса;
- 2) дать заинтересованным партнерам общее стратегическое видение и понимание приоритетов в деле укрепления системы здравоохранения;
- 3) благодаря предоставлению информации о деятельности системы поддержать основанный на фактических данных процесс выработки политики и установления приоритетов;
- 4) создать платформу для диалога между программами и секторами, обеспечивая тем самым единое понимание того, как совместные действия влияют на конечные итоги для здоровья населения;
- 5) вести мониторинг последствий реформ системы здравоохранения и национальных стратегий здравоохранения и при необходимости обеспечить основу для коррекции реформ и стратегий;
- 6) улучшать понимание возможных направлений повышения рациональности и справедливости системы;
- 7) составлять обоснованные и убедительные заявки на получение финансирования от доноров [10, с 4].

Оценка деятельности системы здравоохранения основывается на пяти принципах [8, с. 16–29].

1. Системное видение. Система здравоохранения представляет собой нечто большее, чем сумма составных частей, которые связаны друг с другом и друг от друга зависят. Поэтому важно рассматривать систему здравоохранения с такой стороны, чтобы видеть ее целиком, а не только как совокупность составляющих.

2. Отражение ОДСЗ, основанной на стратегии, в системе показателей деятельности, принятой в стране. Система показателей деятельности служит фундаментом, на котором стоит немалая часть процесса ОДСЗ – выбор показателей, интерпретация результатов и выработка рекомендаций и стратегий для укрепления системы здравоохранения. Структура системы показателей деятельности является важной составляющей в процессе принятия решений, потому что он зависит от того есть ли в наличии те или иные данные. Поэтому без этой структуры будет гораздо труднее представлять информацию и делиться ею.

3. Широкое участие заинтересованных сторон. Чрезвычайно важно вовлекать заинтересованных партнеров на всех этапах процесса ОДСЗ; этот принцип изначально неотделим от стратегического руководства на основе участия всех заинтересованных сторон. Применение принципа широкого участия к разработке и осуществлению ОДСЗ усиливает чувство личной ответственности за результаты и повышает вероятность принятия последующих мер по этим результатам.

4. Интегрирование аспекта социальной справедливости. Аспект социальной справедливости может и должен систематически вводиться в ОДСЗ на каждом этапе процесса, начиная с создания ее структуры и кончая анализом данных со стратификацией по соответствующим социальным группам и выработкой стратегических рекомендаций. Ведь суть социальной справедливости – это равный доступ к услугам при равных потребностях, равное пользование при равных потребностях и равное качества помощи для всех, а также ориентированность всех усилий на конечные результаты для здоровья.

6. Обеспечение полноты охвата ОДСЗ. Для понимания причин низких показателей деятельности и выработки рекомендаций в отношении политики необходимо дополнить широту охвата оценки деятельности углубленным анализом или исследованиями с целью качественной оценки. Для того чтобы давать обоснованные ответы на стратегические вопросы, нужно не ограничиваться показателями, а заходить в область оценочного исследования.

Практика проведения ОДСЗ в европейских странах показывает, что ОДСЗ используется в следующих целях и следующим образом:

- 1) выработка у заинтересованных сторон единого понимания и видения приоритетов в деле укрепления системы здравоохранения;
- 2) источник справочной информации о показателях функционирования системы для поддержки процессов выработки политики и установления приоритетов на основании фактических данных;
- 3) платформа для диалога между различными программами и между секторами с целью выработки понимания того, как совместные действия влияют на показатели здоровья;
- 4) отслеживание последствий реформ системы здравоохранения и их влияния на национальные стратегии здравоохранения для их корректировки по мере необходимости;
- 5) понимание того, в каких областях системы нужны улучшения в отношении рациональности или социальной справедливости;
- 6) организация работы по улучшению деятельности системы на территориальных уровнях с последующим контролем за достижением результатов, поддающихся измерению;
- 7) повышение прозрачности в системе здравоохранения;
- 8) оценка использования имеющихся баз данных, выявление проблем в области информирования, наличия данных и доступа к ним (табл. 7.1).

Таблица 7.1

**Этапы оценки деятельности системы здравоохранения**

Этап	Назначение	Содержание	Результат
Этап 1. Формулировка и разработка устава проекта [8, с. 30–32]	Устав проекта является прочным фундаментом ОДСЗ, его наличие крайне важно для обеспечения продолжения процесса и после публикации первого отчета. В уставе разъясняются обоснование целесообразности и цели проекта, его стратегическая ориентация, роли и обязанности сторон, временные рамки и ресурсы	На данном этапе необходимо понять ценность ОДСЗ, изучить и использовать опыт других стран, определить ответственные и подотчетные стороны проекта, вовлечь широкий круг заинтересованных сторон, достичь консенсуса относительно охвата и целей оценки, выработать единое понимание и создать единую систему оценки, согласовать временные рамки и определить ресурсы	Результатом этого этапа будет являться устав проекта



## §1. Теоретические основы организации здравоохранения

<p>Этап 2. Построение системы показателей деятельности [8, с. 33–36]</p>	<p>Цель данного этапа – определить аспекты деятельности и взаимосвязь между ними и увязать между собой стратегии системы и конечные результаты для здоровья. Система показателей деятельности должна отражать действительно важные аспекты, а не то, что можно легко оценить. Материал для построения системы показателей для страны будет получен из ответов на следующие вопросы: в чем заключаются приоритеты страны в отношении здравоохранения? как можно перевести эти вопросы и приоритеты в плоскость аспектов деятельности? каковы связанные с ними цели и основные функции системы здравоохранения?</p>	<p>На данном этапе необходимо проанализировать цели и стратегии системы здравоохранения и исследовать окружающую среду, а также установить аспекты и субаспекты деятельности, подтвердить и сформулировать цели и задачи системы, разработать систему показателей деятельности, которая может быть визуально представлена в виде карты стратегий</p>	<p>Результатом будет являться страновая система показателей деятельности (набор взаимосвязанных аспектов деятельности), положительно воспринимаемая в стране и соответствующая лучшим международным образцам</p>
<p>Этап 3. Выбор показателей [8, с. 37–39]</p>	<p>При формулировании рабочего определения и выбора источников данных для заранее выбранных показателей нужно учитывать такие моменты, как</p>	<p>На третьем этапе должно осуществляться: проверка списка показателей; оценка каждого показателя по заранее установленным критериям отбора; консультация с комиссией</p>	<p>Результаты должны быть следующие: отчет о процессе отбора показателей,</p>

	<p>трудности, связанные со сбором данных, качество данных, наличие данных за предыдущие периоды для установления тенденций, наличие целевых показателей, установленных на национальном или территориальном уровне, возможности для предоставления стратифицированных результатов, наличие данных, сравнимых на международном уровне. Могут быть такие аспекты, для которых ни один показатель не удовлетворяет всем критериям, однако комиссия экспертов должна найти по крайней мере один или два показателя, которые могут использоваться для каждого из аспектов. Для тех аспектов, для которых может быть много подходящих показателей, комиссия может решить выбрать от двух до четырех самых лучших из них. После этого рабочая группа должна будет пересмотреть набор</p>	<p>экспертов при составлении паспортов показателей и при отборе показателей; утверждение окончательного набора базовых показателей в консультативном комитете по ОДСЗ</p>	<p>куда войдет перечень показателей, источники определений, баллы по критериям отбора и список экспертов, задействованных на каждом этапе процесса отбора; паспорт каждого показателя, вошедшего в базовый набор: краткое обоснование выбора, аспект деятельности и родственные показатели, определение, первичные и/или вторичные источники данных, процесс сбора данных и расчеты по этому показателю</p>
--	--	---	---

## §1. Теоретические основы организации здравоохранения

	показателей таким образом, чтобы они в достаточной степени охватывали всю систему показателей деятельности, чтобы можно было обеспечить правильное соотношение между показателями или областями структуры, промежуточными результатами, конечными итогами и воздействиями и между показателями, обращенными в прошлое и в будущее		(роли и обязанности методология и временные рамки), потенциал для анализа на предмет социальной справедливости (наличие данных и обоснование стратификации) и общенациональные целевые показатели или международные эталоны
Этап 4. Сбор и анализ данных [8, с. 40–44]	Этот процесс состоит из двух основных компонентов: сбор и компиляция результатов, затем анализ и проверка правильности результатов. Обычно сбор и компиляция результатов по показателям состоят из трех аспектов: 1. Сбор легкодоступных («готовых») результатов, полученных из стандартных источников, таких как национальные статистические управления и различные отчеты.	На четвертом этапе необходимо собрать и скомпилировать результаты по показателям; проанализировать и проверить правильность результатов; признать недостатки данных и предупредить об их наличии; эти действия выполняются основной группой по проведению ОДСЗ с постоянным участием и прямой поддержкой собственных данных	Результаты: резюме основных результатов и проблем, касающихся данных по каждому показателю (в соответствующем разделе паспортов показателей в формате xls, по одной странице xls на показатель, или в графическом

	<p>Информацию, находящуюся в свободном доступе, легко собрать вместе и проанализировать. Для сбора последних результатов, которые пока не были включены в отчеты, или для получения более узких или стратифицированных результатов от ведомств-первоисточников могут потребоваться дополнительные усилия.</p> <p>2. Сбор результатов, сообщаемых в международные организации, таких как Европейская база данных «Здоровье для всех», Система статистической информации ВОЗ или База данных здравоохранения ОЭСР, или имеющихся у этих организаций. Такие данные могут использоваться для того, чтобы находить ориентиры для сравнения в лице других стран или групп стран. При возможности для сравнения следует брать согласующиеся периоды времени. Хотя обычно международные базы</p>		<p>формате, с двумя-тремя графиками на показатель, где это необходимо); отчет о сделанных выводах и возможностях укрепления информационных систем</p>
--	--	--	---

	данных не предоставляют данных, стратифицированных по социально-экономическим факторам, некоторые показатели приводятся с разбивкой по гендерному признаку. Информация о стране тоже может входить в соответствующие источники и может		
Этап 5. Обработка данных, организация и написание отчета [8, с. 45–56]	3. Взаимодействие с ведомствами и владельцами информации для получения ранее не рассчитывавшихся результатов по показателям	Отчет об ОДСЗ – это больше, чем просто представление набора результатов оценки по показателям. Для полноты картины необходимо свести в одно целое три уровня: индивидуальные показатели; аспекты деятельности; система здравоохранения в целом. Первый компонент представляет собой интерпретацию индивидуальных показателей в контексте всей системы с указанием ориентиров, тенденций и связей с другими	На пятом этапе необходимо сделать следующее: оценить достижения по каждому показателю с точки зрения эволюции во времени, сравнения с целевыми показателями и международными ориентирами и распределения между регионами или группами населения; свести вместе все показатели в данном аспекте и дополнительные источники информации, чтобы получить полную картину ситуации в каждом аспекте; представить «широкую картину» и рассказать о деятельности системы в целом, уязва
			Результаты должны быть следующими: карты балльной оценки для каждого аспекта; список стратегических вопросов политики и/или вариантов политики для обсуждения с консультативным комитетом

	<p>показателями. Результаты оценки деятельности по показателям в данный момент времени недостаточно для того, чтобы оценить деятельность системы здравоохранения. Результаты должны рассматриваться в контексте трех аспектов: как результаты менялись с течением времени? соответствуют ли результаты ожиданиям? насколько сильно результаты различаются между регионами или группами населения? Второй компонент – это аспекты деятельности. Назначение выбранных индивидуальных показателей заключается в том, чтобы давать ответы на стратегически важные вопросы и оценивать деятельность в указанных аспектах системы здравоохранения. Аспекты деятельности, сформулированные на основании структурной схемы оценки, помогают добиться того, как будут использоваться</p>	<p>все аспекты в системе показателей деятельности; дать предварительные ответы на первоначальные стратегические вопросы или сформулировать новые стратегические вопросы</p>	
--	---	---	--

## §1. Теоретические основы организации здравоохранения

	<p>показатели, которые охватывают всю систему здравоохранения в том виде, в каком она была определена для ОДСЗ. При оценке деятельности в каком-либо конкретном аспекте нужно проанализировать показатели и связанные с ними стратегические вопросы и определить, что говорят результаты в ответ на эти стратегические вопросы.</p> <p>Третий компонент относится к системе здравоохранения в целом. После того как будут оценены результаты деятельности по отдельным аспектам, система показателей, демонстрирующая взаимосвязь между аспектами деятельности, позволит нарисовать «широкую картину» деятельности всей системы здравоохранения</p>		
<p>Этап. 6. Обсуждение вариантов политики или рекомендаций [8, с. 56–57]</p>	<p>Распространение отчета. Из практических примеров стран можно вывести два подхода. При первом подходе отчет об ОДСЗ составляется как технический документ, а значение ОДСЗ для поли-</p>	<p>На шестом этапе должно быть осуществлено: распространение проекта отчета и обсуждение вопросов политики, названы варианты политики или выработан консенсус в отношении программных рекомендаций с активным</p>	<p>Результат: итоговый отчет/отчеты, возможно, состоящие из двух документов – резюме и полного отчета,</p>

	<p>тики можно обсуждать на стадии распространения; сам документ не содержит рекомендаций в отношении политики. Второй подход предусматривает указание вариантов политики или включение рекомендаций в текст отчета. В этом случае необходимо провести четкое различие между частью отчета, касающейся политики, и его технической частью. Такой вариант требует более тесного вовлечения лиц, вырабатывающих политику, во все стадии подготовки отчета, ведущие к его публикации</p>	<p>участием консультативного комитета; написан вариант политики или рекомендации в отношении политики в виде отдельного раздела (в самом тексте отчета или в виде приложения к нему)</p>	<p>предназначенных для разных читательских аудиторий</p>
--	--	--	--

*Примечание:* по [8].

Универсального подхода к ОДСЗ не существует. Проведение ОДСЗ представляет собой процесс балансирования между противоположными интересами, на который на всех этапах влияют масштаб оценки и состав ее участников. Процесс ОДСЗ – это часть цикла оценки системы здравоохранения, выработки рекомендаций, принятия ответных мер на уровне политики, реализации и повторной оценки, который служит целям обеспечения стратегического руководства системой здравоохранения. ОДСЗ должна определять содержание политики. Ее конечная цель заключается в том, чтобы содействовать переменам, направленным на улучшение деятельности системы здравоохранения. Для того чтобы знания, полученные в ходе ОДСЗ, смогли воплотиться в политику, необходим диалог между оценщиками и лицами, вырабатывающими политику, который должен



осуществляться с самого начала процесса и в важнейшие моменты процесса. Необходимо рассмотреть возможность использования нескольких инструментов воплощения знаний в практику, которые дополняли бы сам процесс ОДСЗ и написание отчета. Следующая официальная ОДСЗ может уже опираться на процесс, при котором собираются отзывы и мнения и документально фиксируются выводы из завершенной ОДСЗ. Технический отчет, содержащий документальные материалы процесса, описание структуры системы здравоохранения и показатели деятельности, станет для заинтересованных сторон полезным источником фактических данных.

В Португалии внешние оценки Национального плана здравоохранения (НПЗ) и ОДСЗ проводились параллельно и были направлены на то, чтобы помочь министерству здравоохранения в его усилиях по улучшению работы системы здравоохранения. ОДСЗ обеспечивает целостное видение системы здравоохранения и тем самым дополняет оценку НПЗ, которая больше сосредоточена на измерении показателей улучшения здоровья населения. Комплекс мероприятий, состоящий из оценки НПЗ, ОДСЗ и дополнительных обзоров, позволил укрепить доказательную базу и расширить выбор вариантов политики для разработки очередного Национального плана здравоохранения на 2011–2016 гг. [10, с. 13]

В Эстонии в ОДСЗ было указано на проблему ожирения в детском возрасте как на одну из наиболее важных проблем здравоохранения. Данные об этой проблеме имелись и до проведения ОДСЗ, однако они были получены из разных источников, и поэтому в общей картине не было целостности. Когда в процессе ОДСЗ данные об ожирении, рационах питания и физической активности, полученные из разных источников, были сведены вместе, выяснились подлинные масштабы проблемы, и это подтолкнуло к принятию мер на уровне политики [10, с. 16–17].

В Бельгии благодаря ОДСЗ возникли дискуссии и начались критические рассуждения о характере данных, которыми нужно обмениваться на международном уровне, а также дебаты об оптимальном использовании имеющихся в стране баз данных, чтобы создать стандартный инструмент, которым могли бы пользоваться местные, региональные и национальные органы. Бельгийская структура оценки деятельности построена с учетом международного опыта, адаптированного к потребностям бельгийской системы здравоохранения [10 с. 9].

В настоящее время эксперты призвали Региональное бюро активизировать свою работу по ОДСЗ и оказать поддержку государствам-членам

в повышении подотчетности и транспарентности в управлении системой здравоохранения. Они рекомендовали региональному бюро укрепить свою работу по ОДСЗ (HSPA) тремя основными способами. Во-первых, чтобы повысить нормативную роль Регионального бюро в регионе, в частности проиллюстрировав связь между эффективностью системы здравоохранения и последними глобальными обязательствами в области политики здравоохранения, такими как цели устойчивого развития, путем обновления своих рамок и наборов инструментов, связанных с ОДСЗ, и путем укрепления партнерских отношений. Во-вторых, региональное бюро должно выступать в качестве посредника в обмене знаниями, поддерживая платформы для содействия обмену знаниями по ОДСЗ, предоставляя техническую поддержку отдельным странам и путем регулярного обновления тематических исследований по конкретным странам по ОДСЗ. В-третьих, оценку систем следует увязывать с текущей поддержкой Регионального бюро в развитии информационных систем здравоохранения, поскольку наличие данных является важным предварительным условием для ОДСЗ [11]. В частности, совещание группы экспертов по усовершенствованию механизмов мониторинга и отчетности в рамках политики «Здоровье-2020» преследовало следующие цели: предоставить рекомендации в отношении дальнейшего совершенствования механизмов мониторинга и отчетности в рамках политики «Здоровье-2020»; определить приоритетные концепции в рамках политики «Здоровье-2020», требующие дополнительного мониторинга и отчетности; четко сформулировать подходы к сбору информации здравоохранения, предусматривающие использование смешанных методик. В отчете приведены рекомендации в отношении этих целей, которые были выработаны группой экспертов [12].

Электронное здравоохранение (ЭЗ) играет уникальную и определяющую роль в достижении всеобщего охвата услугами здравоохранения. ЭЗ позволяет расширить спектр услуг здравоохранения, повысить уровень прозрачности и доступности лечебно-профилактической помощи и медицинской информации, расширить популяционную базу для использования предлагаемых услуг здравоохранения и стимулировать инновации и рост эффективности. Концепцию всеобщего охвата услугами здравоохранения часто представляют в трех измерениях: набор предлагаемых (или необходимых) медико-санитарных услуг; население или группы населения, охватываемые такими услугами; доля прямых затрат, оплачиваемая потребителями при получении таких услуг (оплата услуг из лич-

ных средств граждан). Эти измерения обычно изображают в виде куба (рис. 7.1) для иллюстрирования взаимосвязей между этими измерениями и для наглядного отображения масштабов и характера прогресса страны в достижении всеобщего охвата [13, с. 2].

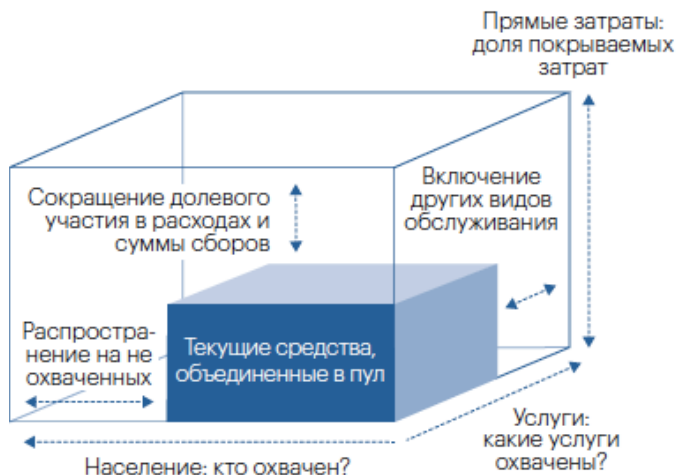


Рис. 7.1. Три измерения всеобщего охвата услугами здравоохранения [14]

Концепция всеобщего охвата услугами здравоохранения также учитывает, что здравоохранение не функционирует отдельно от других социальных факторов и что многие из таких факторов, которые на первый взгляд не связаны с общественным здоровьем, часто оказывают на него прямое влияние. В рамках этой концепции на все секторы общества возлагается обязанность выполнять свои взаимосвязанные функции в обеспечении здоровья, выходя за пределы традиционных подходов к здравоохранению и социальной поддержке, способствуя межсекторальному сотрудничеству и действиям для достижения позитивных сдвигов в показателях здоровья населения. Сильная экономика, стабильность государственного управления, городское планирование, транспорт, трудоустройство и условия труда граждан, а также окружающая среда, образование, сети социальной поддержки и культура – все это влияет на здоровье людей.

## **§2. Законодательные основы развития здравоохранения**

Двадцать лет назад Правительство РФ одобрило разработанную Мин-здравом России и Российской академией медицинских наук Концепцию развития здравоохранения и медицинской науки в РФ [15], которая стала стратегическим ориентиром реформирования отрасли. В концепции было отмечено произошедшее ухудшение состояния здоровья населения, проблемы финансирования здравоохранения из бюджетов всех уровней и за счет средств ОМС не обеспечивают население бесплатными медицинскими услугами, а также то, что имеющиеся финансовые и материальные ресурсы используются неэффективно, усиливаются диспропорции в предоставлении медицинской помощи. В связи с этим была обоснована необходимость стратегии реформирования здравоохранения с целью сохранение и улучшение здоровья людей, сокращение прямых и косвенных потерь общества за счет снижения заболеваемости и смертности населения.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

- активизация деятельности по профилактике заболеваний;
- сокращение сроков восстановления утраченного здоровья населения путем внедрения в медицинскую практику современных методов профилактики, диагностики и лечения;
- повышение эффективности использования ресурсов в здравоохранении.

Концепция основана на следующих принципах: всеобщность, социальная справедливость и доступность медицинской помощи населению, профилактическая направленность, экономическая эффективность, единство медицинской науки и практики, активное участие населения в вопросах здравоохранения, повышение ответственности за свое собственное здоровье и здоровье своих детей.

В концепции определены основные направления развития российской здравоохранения, включающие:

- совершенствование организации медицинской помощи;
- совершенствование системы финансирования здравоохранения;
- задачи организации здравоохранения на федеральном, региональном и муниципальном уровнях;
- обеспечение санитарно-эпидемиологического благополучия;
- государственные гарантии по предоставлению бесплатной медицинской помощи и защита прав пациентов;
- развитие медицинской науки;

- совершенствование медицинского образования и кадровой политики;
- совершенствование лекарственного обеспечения;
- расширение социальной базы здравоохранения.

Концепция не только обозначила основные пути реформирования отрасли, но и наполнила их конкретным содержанием. На ее основе были разработаны нормативно-правовые документы по многим направлениям развития российского здравоохранения, включая совершенствование отраслевых финансово-экономических отношений.

Важной частью этого процесса является формирование новой системы лекарственного обеспечения. Эксперты прогнозируют, что повышение доступности лекарственных средств для населения возможно за счет расширения объемов государственных гарантий и внедрения страховых механизмов лекарственного обеспечения. При этом необходимо учитывать риски, связанные с нестабильностью бюджетных доходов. Оптимизация государственных гарантий в сфере лекарственного обеспечения зависит от ряда факторов. Среди них – доминирование в обществе потребительского отношения к здравоохранению, согласно которому о здоровье граждан должно заботиться государство, слабость отечественных секторов в разработке и производстве инновационной продукции, отсутствие механизмов мониторинга эффективности применения тех или иных лекарственных средств, недостаточное развитие программ здорового образа жизни и социальных практик. Все это в значительной степени затрудняет планирование затрат на лекарственное обеспечение населения в соответствии с реальными потребностями здравоохранения страны. Вместе с тем ключевыми задачами являются повышение качества медицинской помощи и удовлетворенности ею граждан России, а также улучшение демографической ситуации в России. Согласно Указу Президента Российской Федерации № 598 от 7 мая 2012 г. «О совершенствовании государственной политики в сфере здравоохранения» и Закону «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» от 21 ноября 2011 г. № 323-ФЗ, Правительством Российской Федерации была одобрена Стратегия лекарственного обеспечения населения Российской Федерации на период до 2025 г. Программа направлена на формирование рациональной и финансово сбалансированной системы лекарственного обеспечения населения и удовлетворение потребностей граждан в доступных, качественных и эффективных лекарственных препаратах.

В настоящее время реформирование системы здравоохранения осуществляется на основе Стратегии развития здравоохранения Российской Федерации на долгосрочный период 2015–2030 гг. [16]. Основные направления развития Национальной системы здравоохранения Российской Федерации стали:

1. Совершенствование Программы государственных гарантий оказания гражданам бесплатной медицинской помощи.
2. Развитие системы ОМС на основе принципов солидарности и социального равенства и расширения страховых принципов.
3. Развитие системы дополнительного медицинского страхования (сверх обязательного медицинского страхования) при оказании застрахованным лицам дополнительных медицинских или иных услуг, не входящих в Программу государственных гарантий оказания бесплатной медицинской помощи.
4. Развитие государственно-частного партнерства в здравоохранении.
5. Развитие общественных медицинских организаций, сформированных по территориальному и профессиональному принципам.
6. Введение обязательной аккредитации медицинских работников.
7. Информатизация здравоохранения.
8. Выстраивание вертикальной системы контроля и надзора в сфере здравоохранения.
9. Обеспечение лекарственными препаратами и медицинскими изделиями.
10. Ускоренное инновационное развитие здравоохранения на основе результатов биомедицинских и фармакологических исследований.

### **§3. Характеристика системы здравоохранения на современном этапе**

Среди особенностей современной ситуации в сфере здравоохранения в Докладе НИУ ВШЭ по проблемам развития системы здравоохранения [17] выделено семь основных положений: изменения в результирующих показателях системы охраны здоровья; повышение заработной платы медицинских работников и внедрение эффективного контракта; доступность бесплатной медицинской помощи; мероприятия по повышению эффективности системы оказания медицинской помощи; структурные проблемы российского здравоохранения; изменения в системе финансирования здравоохранения; расширение участия негосударственных медицинских

организаций в ОМС. Рассмотрим указанные проблемы более подробно с разных точек зрения.

### **Изменения в результирующих показателях системы охраны здоровья**

По данным Минздрава России, ожидаемая продолжительность жизни за последнее десятилетие увеличилась на пять лет и продолжает расти (рост на 0,48 лет по сравнению с 2015 г. – 71,39 лет по предварительным оценкам Росстата), что в значительной степени связано со снижением смертности лиц трудоспособного возраста [18, с. 10]. Однако уровень смертности населения, имевший выраженный тренд снижения до 13 на тыс. населения в 2013 г., последние годы замедлился, составив 12,9 на тыс. населения в 2016 г. [19].

А. Г. Аганбегян отмечал, что по инициативе руководства страны была сформирована Национальная программа по улучшению здравоохранения, а потом принята Концепция новой демографической политики с конкретными показателями сокращения смертности, повышения рождаемости, преодоления депопуляции и значительного увеличения продолжительности жизни. На нее было выделено 20 % направляемых на нужды здравоохранения бюджетных средств, однако темпы прироста суммарных вложений в здравоохранение по линии консолидированного бюджета снизились почти в два раза. С 2005 по 2013 г. общие расходы на здравоохранение увеличились с 797 млрд. до 2,318 трлн руб. При вдвое меньшем приросте средств нацеленность небольшой части расходов здравоохранения на конечный результат, предусмотренный в госпрограмме, привела к кардинальному улучшению показателей. На 1 000 человек населения рождаемость увеличилась с 10,2 до 13,2, смертность снизилась с 16,1 до 13, вместо сокращения населения – 847 тыс. человек обеспечен его прирост на 24 тыс., ожидаемая продолжительность жизни возросла с 65,4 до 70,8 лет [20, с. 147]. После этих успехов Минфин стал сокращать в реальном выражении бюджетные расходы на здравоохранение, прежде всего за счет средств госпрограмм – самой эффективной части расходов. Отрицательный результат не замедлил сказаться: в 2014 г. впервые с 2005 г. смертность перестала снижаться, а в январе – апреле 2015 г. она значительно (на 3,7 %) выросла по всем основным классам болезней. Рождаемость немного снизилась, и вновь возникла депопуляция более 60 тыс. человек (всего за четыре месяца) [1; 20, с. 148].

### **Повышение заработной платы медицинских работников и внедрение эффективного контракта**

Снижение темпов роста зарплаты в 2014–2015 гг. отражает реалии складывающейся экономической ситуации. Государственное финансирование здравоохранения в 2014 г. выросло в номинальном выражении всего лишь на 6,2 %, а объем реализации платных медицинских услуг – на 7 %. Поскольку достигнутые уже в 2013 г. значения средней заработной платы врачей и среднего медицинского персонала по отношению к средней заработной плате в регионе превосходили целевые показатели, установленные на 2014 и 2015 гг., в условиях экономического кризиса вполне рационально была выбрана политика сдерживания темпов роста заработной платы. Вместе с тем, по данным интервью с медицинскими работниками, проведенных сотрудниками НИУ ВШЭ в 2014 и 2015 гг., небольшой рост заработной платы, в пределах 10–15 %, не приводит к позитивному изменению внутренней мотивации врачей [17, с. 18].

Положительное отношение к реализации различных проектов и реформ в здравоохранении связано с полнотой информированности о них работников всех уровней здравоохранения. По данным опроса врачей Томской области, было установлено, что, как правило, источником информации служит официальная документация Министерства здравоохранения РФ и Департамента здравоохранения Томской области. Подавляющее большинство респондентов муниципальных, областных и федеральных медицинских организаций сомневаются в экономической обоснованности стандартов лечения. Почти треть респондентов федерального уровня отрицает или сомневается в необходимости подготовки специалистов в области экономики здравоохранения и получении дополнительных экономических знаний. Работники областных и муниципальных организаций здравоохранения ориентированы на оплату труда по конечному результату в большей степени, чем на федеральном уровне. Возможно, данная проблема связана с вопросами кадровой обеспеченности и формирования кадрового резерва в учреждении, которые отметили более половины сотрудников областного и муниципального уровней здравоохранения [21].

Трудовая деятельность медицинских работников не ограничивается только материальными стимулами, поэтому повышение заработной платы – необходимый, но не единственный шаг по стимулированию их работы, который государство должно сделать для повышения ее качества.



Необходимы существенные изменения в механизмах обеспечения профессионального роста, а также поиск способов повышения социального статуса медицинских работников и воссоздания этических стандартов медицинской деятельности [22, с. 50]. Помимо этого, улучшение качества рабочих мест входит в число первоочередных задач по увеличению трудового вклада работников [23, с. 95], хотя сами по себе условия труда не являются мотивационным фактором (наряду с заработной платой, межличностными отношениями, управлением компанией, контролем, статусом и безопасностью), а служат средством избегания неудовлетворенности трудом, тогда как достижения, признание достижений, сама работа, ответственность, рост или продвижение мотивируют людей [24].

### **Доступность бесплатной медицинской помощи**

По данным многолетнего Российского мониторинга экономического положения и здоровья населения (РМЭЗ) НИУ ВШЭ, доля плативших за визит к медицинским работникам среди обратившихся за амбулаторной помощью возросла с 4 % в 1994 г. до 14,7 % в 2012 г., в последующие два года мало изменилась, а в 2015 г. сократилась до 13,4 % [25]. Это означает, что почти 87 % граждан получают только бесплатные врачебные консультации. В 2015 г. 74 % пациентов стационаров получали в них полностью бесплатное лечение [17, с. 20].

По данным другого проведенного опроса, в среднем преобладают положительные оценки респондентами изменений в работе больниц и поликлиник, которые произошли в течение года перед опросом: 42 % считают, что их работа скорее улучшилась, а 29 % увидели ухудшения [26, с. 8]. Уровень профессионализма определяется оценкой результатов лечения и внимательного отношения персонала, оснащенность – наличием современного оборудования и оценкой санитарно-гигиенических условий. Группу критериев своевременности оказания медицинской помощи составили такие показатели, как отсутствие длительного ожидания, близость расположения медучреждений. Респондентам предлагалось ответить на вопрос: «Что вы связываете с понятием качества медицинской помощи?» По результатам анкетирования, проведенного в 2013–2014 гг., было установлено, что три четверти респондентов (74 % в 2014 г.) выбрали хотя бы один из показателей уровня профессионализма, на втором месте по значимости оказалась группа критериев своевременности оказа-

ния медицинской помощи, 49 % респондентов выбрали показатели этой группы. Третье место по значимости занял второй критерий – «оснащенность», 47 % респондентов отметили показатели «отсутствие длительного ожидания», «близость расположения медучреждений» [26].

Проведенный Т. Н. Русских обзор анкет и результатов социологического опроса, представленных на сайтах территориальных фондов ОМС субъектов РФ, позволил установить, что в основе мониторинга удовлетворенности потребителей качеством и доступностью медицинских услуг в субъектах РФ лежат различные методики и системы критериев, представленная на официальных сайтах Территориальных фондов ОМС информация о результатах мониторинга зачастую носит ограниченный характер [27, с. 38]. Автором были определены понятия «субъективность» и «противоречивость» суждений респондентов в контексте рассматриваемой проблемы мониторинга удовлетворенности качеством и доступностью медицинских услуг, предложены процедуры выявления и оценки противоречивости суждений, приведены эмпирические результаты реализации процедур на данных социологического опроса. Результаты мониторинга удовлетворенности потребителей качеством и доступностью услуг амбулаторно-поликлинических организаций г. Орла обосновывают возможность использования разработанной методологии мониторинга (авторская нечетко-множественная модель оценки удовлетворенности потребителей качеством и доступностью медицинских услуг), позволяющей сделать общие выводы о социальной эффективности деятельности систем здравоохранения и ОМС, и выявить основные направления оптимизации деятельности медицинских учреждений первичного звена здравоохранения по повышению эффективности деятельности систем. Так, полученные результаты мониторинга на примере Орловской области ориентируют на поиск механизмов увеличения доступности амбулаторной помощи. Эффективное решение данной задачи может быть получено путем применения комплексных управленческих мер как на уровне региона, так и на уровне отдельно взятого медицинского учреждения [27, с. 97–98].

Для оценки инфраструктур здравоохранения субъектов РФ и анализа территориальной доступности разработана геоинформационная система, которая позволила выявить населенные пункты, находящиеся вне зоны медицинского обслуживания, дала возможность совершенствовать порядки маршрутизации пациентов до ближайших медицинских организаций [18, с. 28].

### Мероприятия по повышению эффективности системы оказания медицинской помощи

Реформирование системы оказания медицинской помощи населению началось с Приоритетного национального проекта «Здоровье», когда была проведена подготовка и переподготовка врачей первичного звена здравоохранения (в 2006–2009 гг. прошли обучение 48 159 врачей первичного звена) и разработаны мероприятия по реформированию стационарной помощи и развитию стационарозамещающих технологий (рис. 7.2 [28, с. 258]).

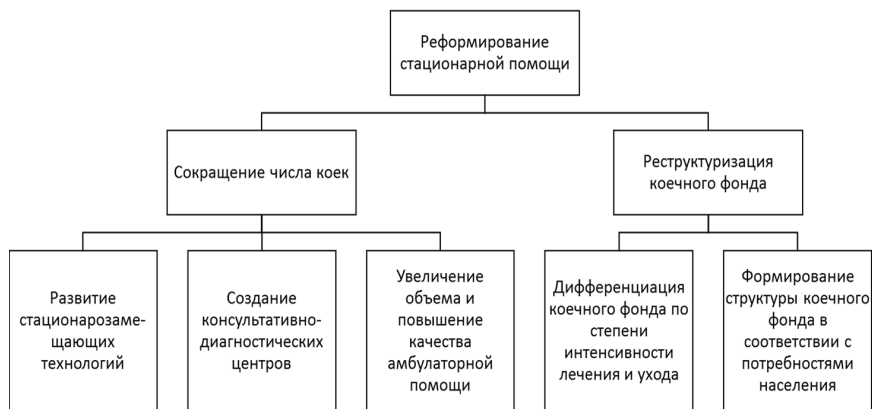


Рис. 7.2. Реформирование стационарной медицинской помощи

При проведении реструктуризации медицинской помощи (сокращение объемов стационарной помощи при адекватном увеличении объемов амбулаторной помощи) объем средств, которые за счет этого можно было бы привлечь для повышения заработной платы, составляет всего лишь 10,5 % требуемого прироста средств на повышение оплаты труда в 2013–2018 гг. при условии сохранения прежней численности медицинских работников [29]. Возможная экономия на закупках лекарственных средств обеспечила бы еще 1,7 % [Там же]. Этот расчет показывает, что целевая установка на привлечение не менее 1/3 средств за счет внутриотраслевых резервов предопределила проведение упрощенной реструктуризации (то есть не замещения одних видов помощи другими, а сокращения сети уч-

реждений, коечного фонда, кадров и т. д. с неизбежными негативными последствиями для качества и доступности медицинской помощи) и интенсивное развитие платных медицинских услуг [17, с. 23].

### Структурные проблемы российского здравоохранения

В Российской Федерации действует единая система здравоохранения – совокупность федеральных органов управления здравоохранением, органов исполнительной власти субъектов РФ, органов местного самоуправления, подведомственных им организаций, субъектов частной медицинской практики и частной фармацевтической деятельности, работающих с целью сохранения и укрепления здоровья граждан (рис. 7.3) [4, с. 189].



— — прямое подчинение, — — — функциональное подчинение

Рис. 7.3. Организационно-функциональная структура системы здравоохранения Российской Федерации (с изменениями)

В целях перспективного планирования развития сети медицинских организаций и расчета нормативной потребности в объектах здравоохранения на основе сложившейся региональной структуры здравоохранения,

### §3. Характеристика системы здравоохранения на современном этапе

учитывающей допустимый уровень обеспеченности объектами здравоохранения, разработаны и утверждены приказом Минздрава России методические рекомендации по развитию сети медицинских организаций государственной системы здравоохранения и муниципальной системы здравоохранения. В них даны разъяснения о распределении медицинских организаций по трем уровням, необходимом для соблюдения этапов оказания медицинской помощи, планирования рационального размещения медицинских организаций, а также определения дифференцированных нормативов объема медицинской помощи в рамках территориальных программ государственных гарантий бесплатного оказания гражданам медицинской помощи [18, с. 27–28]. Совершенствование инфраструктуры системы здравоохранения планируется с использованием внебюджетных инвестиций [18, с. 81].

Оценивая основные показатели здравоохранения, можно отметить, что за последние три года представленные данные, характеризующие сеть и кадры медицинских организаций, в подавляющем большинстве снизились (табл. 7.2).

Таблица 7.2

#### Сеть и кадры медицинских организаций

Наименование показателя	Год			Рост/ убыль, %
	2014	2015	2016	
Число медицинских организаций – всего	8483	8044	7767	– 8,4
Из них:				
Число медицинских организаций, оказывающих медицинскую помощь в стационарных условиях	4865	4688	4572	– 6,0
Численность коечного фонда	1137997	1097134	1074382	– 5,6
Средняя занятость койки (в днях)	321	319	318	– 0,9
Средняя длительность пребывания пациента на койки (в днях)	11,6	11,4	11,1	– 4,3
Летальность (в %)	1,60	1,71	1,77	+ 10,6
Число медицинских организаций, оказывающих медицинскую помощь в амбулаторных условиях (за исключением стоматологических поликлиник)	1529	1412	1329	– 13,1

Число стоматологических поликлиник	704	676	658	– 6,5
Мощность МО, оказывающих медицинскую помощь в амбулаторных условиях по числу посещений в смену	3302219	3314116	3320566	+ 0,6
Численность врачей (тыс.)	542,5	543,6	544,5	+ 0,4
Численность среднего медицинского персонала (тыс.)	1342,6	1309,8	1292,0	– 3,8

*Примечание:* по [30, с. 4]

В процессе анализа собранной информации о системе здравоохранения Хабаровского края было выявлено, что все исследуемые медицинские организации имели линейно-функциональную организационную структуру. При анализе организационной структуры не установлено какого-либо единообразия в названиях немедицинских структурных подразделений, что обусловлено отсутствием их номенклатуры, а также не было установлено связи между названиями немедицинских структурных подразделений и масштабом их деятельности от I до III уровня организации медицинской помощи гражданам. При этом анализ организационной структуры медицинских организаций первого уровня позволил выявить, что организационная структура немедицинских подразделений обследуемых медицинских организаций не соответствовала ни по их численности, ни по названию при условии выполнения однотипных функций [31, с. 33].

Вполне оправданное для системы здравоохранения частичное перемещение медицинской помощи из стационаров в амбулаторное звено и превращение стационаров в центры оказания сложной и высокотехнологичной помощи в значительной степени тормозится слабым кадровым обеспечением [17, с. 41–42]. При этом организаторы здравоохранения отмечают, что не следует пытаться одновременно развивать все службы здравоохранения и решать все проблемы охраны здоровья и организации медицинской помощи, поскольку роль приоритетов на каждый временной период изменяется, а основные проблемы здравоохранения лежат в плоскости его организации [32].

Компетенции руководителя – основа для повышения эффективности деятельности организации. Рассмотренные в исследовании компетенции распределенного лидерства – коллективное управление, формирование

### §3. Характеристика системы здравоохранения на современном этапе

и восстановление отношений в коллективе, самосознание — учитывают специфику организаций системы здравоохранения [33, с. 99]. Базис складывается из личностных компетенций руководителя, но закрепляется клиническими компетенциями (рис. 7.4). Было показано, что эмоциональный интеллект и такие компетенции, как формирование и восстановление отношений в коллективе и самосознание, взаимосвязаны между собой и в сочетании с клиническими компетенциями и творчеством влияют на эффективность деятельности медицинской организации. Выявленная связь подчеркивает, что отобранные для анализа компетенции — важный инструмент для повышения эффективности учреждения здравоохранения, совершенствования управленческих практик и обеспечения интегрированного предоставления медицинских услуг.



Рис. 7.4. Модель компетенций руководителя в организациях здравоохранения, основанная на идеях распределенного лидерства

### **Изменения в системе финансирования здравоохранения**

Доля государственного финансирования здравоохранения, аккумулируемая в системе ОМС, неуклонно увеличивалась в последние годы и в 2015 г. превысила долю бюджетного финансирования здравоохранения, составив 54 % [17, с. 23]. Наряду с преимуществами одноканальной системы финансирования здравоохранения (финансовое обеспечение в полном объеме (оплата по конечному результату); доступность медицинской помощи для всех категорий граждан; повышение эффективности использования бюджетных средств; контроль качества медицинских услуг страховыми организациями и др.), она обладает и рядом недостатков. Во-первых, по мнению экспертов в сфере здравоохранения, отсутствие контроля за финансово-экономической деятельностью руководства учреждений здравоохранения привело к росту безответственности и повышению уровня коррупции. Во-вторых, наблюдается снижение доли финансового обеспечения региональными властями территориальных программ ОМС путем утверждения заранее сниженных объемов работы медицинских организаций. Кроме того, страховые компании, основным источником доходов которых стали штрафные санкции, усугубляют проблему дефицита финансовых ресурсов в медицинских учреждениях [34, с. 136].

Другой новацией в системе финансирования здравоохранения стала оплата медицинских услуг по клинико-статистическим группам (КСГ), переход к которой был начат в условиях сокращения государственного финансирования здравоохранения. Естественно, что никаких резервных фондов для демпфирования издержек перехода создать было невозможно. Вместо этого утвержденная методика внедрения КСГ предусматривает использование ряда корректирующих коэффициентов, которые призваны снизить расхождение между поступлениями от оплаты по КСГ и прежним объемом финансирования учреждений. Тарифы оплаты по КСГ при этом становятся практически индивидуальными, а оплата по КСГ – формальной. Динамика изменения этих коэффициентов в последующие годы остается неопределенной. Не завершено и формирование современной системы КСГ: число групп заболеваний, по которым дифференцируются тарифы, очень невелико – 187 против 600–2 500 в европейских странах. Этого явно недостаточно для того, чтобы создать у медицинских организаций стимулы к повышению доли сложных видов медицинских вмешательств



и развитию новых медицинских технологий [17, с. 48]. Так, например, в случаях изменения тарифа по КСГ становится весьма рискованным для организации оказание дорогостоящих видов медицинской помощи, значительно осложняется процесс планирования финансовых результатов.

В этой связи, безусловно, возникает вопрос о соблюдении качества оказываемой медицинской помощи. Федеральная антимонопольная служба (ФАС) в своем докладе по результатам проверки соблюдения Росздравнадзором и его территориальными органами требований антимонопольного законодательства при реализации ими своих полномочий в вопросах государственного контроля качества и безопасности медицинской деятельности (осуществлена в соответствии с п. 4 Протокола совещания у заместителя Председателя Правительства Российской Федерации О. Ю. Голодец от 02.07.2014 № ОГ-П12-180пр) отмечает, что программы ОМС (как базовая, так и территориальные) содержат критерии качества, но они носят общий характер и трудно применимы для определения качества оказания медицинской помощи как в конкретной клинике, у конкретного врача, так и конкретному пациенту. По мнению ФАС, это, скорее, статистические данные, применяемые для оценки эффективности реализации программы госгарантий и составления аналитических отчетов, поэтому, «не имея критериев качества оказания медицинской помощи, все перечисленные контрольные органы, включая Росздравнадзор, лишены инструмента оценки качества, поэтому проверяют только условия оказания медицинской помощи, но не качество самой помощи» [35, с. 126]. В целом ФАС отмечает, что контроль качества и безопасности медицинской деятельности носит формальный характер [35, с. 131].

Государственная система здравоохранения Российской Федерации характеризуется высокой зависимостью от центральных источников финансирования (бюджеты разного уровня, система ОМС) и не способна самостоятельно к воспроизводству и развитию как общественная подсистема. В условиях кризиса это неизбежно негативно отражается на воспроизводстве других составляющих социально-экономической системы (демографической, производственной, технологической и др.). Так, снижение качества здоровья отражается на демографических процессах, а также качестве трудовых ресурсов, что, в свою очередь, влияет на производственный сектор [36, с. 201]. В этой связи В. Н. Кораблев предлагает состав

предельно-критических величин<sup>1</sup> и их индикаторов в здравоохранении, который должен базироваться на выделении уровней оказания медицинской помощи (здравоохранения РФ, субъект Федерации, медицинская организация) и включать в себя показатели, отражающие объем спроса и предложения на медицинские услуги, а также их ресурсное обеспечение [36, с. 202]. Модель предельно-критических величин и их индикаторов в здравоохранении может основываться на планово-экономической модели здравоохранения и медицинской организации (рис. 7.5).



Рис. 7.5. Блок-схема экономической модели здравоохранения и медицинской организации [36, с. 202; 38, с. 35]

### Расширение участия негосударственных медицинских организаций в ОМС

Субъекты частной системы здравоохранения вправе участвовать в реализации государственной политики в здравоохранении, формировании рынка медицинских услуг, решении задачи обеспечения граждан квали-

<sup>1</sup> Необходимо различать показатели и соответствующие им предельно критические (пороговые) значения, определяющие способность системы к воспроизводству и способность системы к развитию. Выход за границы первых означает, что система утрачивает способность к самосохранению – возникает угроза либо ее разрушения, либо перехода в качественно новое состояние [37].

фицированной медицинской помощью. Деятельность частных организаций здравоохранения основана на единых нормативно-правовых актах, стандартах медицинской помощи и этических нормах [4, с. 190]. Однако, поскольку здравоохранение затрагивает жизненно важные составляющие и не может, очевидно, целиком и полностью ориентироваться на рыночные отношения, определяются два основных аспекта проблемы: ограничение сферы действия рыночных отношений наличием нерыночного сектора; ограничения в самом рыночном секторе здравоохранения [4, с. 532]. Говоря о развитии рынка услуг здравоохранения, характеризуя его особенности, не следует забывать о принципах социальной солидарности и справедливости при обеспечении доступности и равных возможностей в получении медицинской помощи, что, безусловно, усиливает роль государства в регулировании рынка медицинских услуг [39, с. 52].

В. В. Уйба и соавторы отмечают ряд ограничивающих факторов при формировании конкурентной среды [40, с. 21].

1. Высокая медико-технологическая трудоемкость и стоимость сложных медицинских технологий: концентрация оказания данного вида помощи в крупных клинико-диагностических центрах, которые превращаются в монополистов; необходимость значительных инвестиций сдерживает приток потенциальных конкурентов. Необходимы меры по демополизации здравоохранения – стимулирование распространения новых технологий.

2. Необходимость построения иерархической системы оказания стационарной помощи: сеть больниц, как и во многих странах, построена по принципу разделения уровней оказания стационарной помощи: простые случаи – в стационарах по месту жительства, сложные – в региональных центрах. Разные уровни оказания помощи различия по оснащению, квалификации персонала, набору услуг, поэтому неоднородность также сужает сферу потенциальной конкуренции.

3. Ограничения на приток трудовых и материальных ресурсов, поскольку укомплектованность кадрами определяется на основе действующих стандартов.

Применительно к больницам зависимость между мощностью, объемом производства и ценой медицинских услуг формулируется как задача по расхождению оптимальных величин. Например, при одинаковых функциях спроса на медицинские услуги и функции изменения издержек производства для некоммерческих больниц и коммерческих больниц,

находящихся в условиях монополистической конкуренции, а также коммерческой больницы-монополиста, результаты будут существенно различаться [41, с. 115].

В Методических рекомендациях Минздрава отмечено, что управленческие решения органов государственной власти субъектов Российской Федерации о формах и объемах участия в государственно-частном взаимодействии в сфере здравоохранения должны приниматься взвешенно, исходя из его целесообразности, и учитывать как текущие и плановые потребности в привлечении частных организаций и внебюджетных инвестиций для надлежащего выполнения возложенных на органы государственной власти субъектов Российской Федерации публичных функций и полномочий, так и качество выполняемых привлеченными организациями работ и услуг, экономическую эффективность государственно-частного взаимодействия (сокращение бюджетных затрат) и социально-экономический эффект для конкретного региона [42, с. 33]. По итогам 2016 г. в отрасли здравоохранения на разных стадиях в формате государственно-частного партнерства (ГЧП) реализовывалось 76 проектов, из них уже на стадии строительства и эксплуатации – 61 проект. Средний срок реализации проектов в ГЧП в сфере здравоохранения составляет 15 лет [18, с. 80].

Экспертное сообщество активно обсуждает барьеры, мешающие увеличению числа частных компаний в системе ОМС. Большинство видит основные причины в недостаточном финансировании системы оказания медицинской помощи и низких тарифах на медицинские услуги. Однако опыт реализации, например, проекта «Полис. Поликлиники» (Санкт-Петербург) и др. [43] позволяет утверждать, что и при существующих тарифах ОМС возможно обеспечить рентабельность работы медицинских организаций за счет эффективной организации оказания медицинской помощи. Имеется положительный вывод об эффективности модели частичного аутсорсинга функций клинично-диагностической службы с одновременным расширением ассортимента лабораторных исследований (сравнение эффективности осуществления функций клинично-диагностической лаборатории на базе собственной лаборатории детской поликлиники г. Казани и на базе специализированного коммерческого медицинского учреждения в рамках договора аутсорсинга) [44].

На основе этого опыта можно также сделать более широкий вывод: ключевой причиной недостаточности средств у государственных медицинских учреждений является не дефицит государственного финансирования, а неэффективность управления [17, с. 56].

В ряде зарубежных исследований было проведено сравнение эффективности государственных и частных больниц. Так, в Чешской Республике проведен анализ данных различных больниц за 2009 и 2012 гг. (192 и 188 больниц, соответственно) из открытых источников, в том числе сайтов больниц, института Информации и статистики здравоохранения (ÚZIS, Чехия) и реестров юридических лиц. При этом в республике до 2009 г. происходило реформирование системы здравоохранения, сопровождающиеся переходом на корпоративное управление [45, р. 1087]. Изучены годовые отчеты (данные по аудиту и финансовой деятельности, данные о структуре организаций, штатном расписании, квалификации персонала и др.). Больницы были сгруппированы в соответствии с собственником и организационно-правовой формой, после чего 100 больниц (государственные бюджетные, государственные автономные, частно-государственные, частные) были отобраны для углубленного анализа на основании полноты данных. В 2009 г. не было обнаружено связи между экономическими показателями и наблюдаемыми переменными, связанными с корпоративным управлением больниц; большая разница была отмечена в производительности. В частности, государственные больницы, включая университетские клиники, без субсидий несли убытки, тогда как частные больницы имели положительные результаты с/или без субсидий [45, р. 1091]. В 2012 г. все медицинские организации испытывали проблемы, но наиболее они были выражены в государственных больницах, не получающих субсидий. Тем не менее авторы отмечают, что более высокие показатели эффективности частных больниц обусловлены только лишь их незначительным размером, тогда как государственные учреждения более мощные и не обладают достаточной степенью гибкости [45, р. 1093], поэтому нельзя связывать правовую форму больниц с экономическими результатами [45, 1086].

В систематическом обзоре, выполненном Herrera C.A. et al. и посвященном оценке эффекта на экономические, административные и медицинские показатели различных по форме собственности медицинских организаций (государственные, частные некоммерческие, частные коммерческие), исследовались следующие показатели: медицинская деятель-

ность – смертность, заболеваемость, больничная инфекция, профилактические мероприятия и пр.; экономическая деятельность – стоимость медицинских услуг, расходы, долговые обязательства, эффективность и пр.; управление – индикаторы качества, удовлетворенность пациентов, персонала, врачебные ошибки, длительность пребывания больных в стационаре и пр. [46, р. 4]. Было установлено, что форма собственности не влияет на показатели медицинской деятельности. Но тем не менее авторы отметили, что уровень смертности и стоимости медицинских услуг выше в частных коммерческих организациях [46, р. 14].

Очень актуальным в настоящее время становится внедрение технологий аутсорсинга в практику здравоохранения, однако российские публикации на эту тему практически отсутствуют или носят декларативный характер, что не позволяет оценить ситуацию с аутсорсингом, хотя он активно используется медицинскими организациями в хозяйственной деятельности, например при организации питания пациентов или для уборки больниц. В частности, Национальная ассоциация клинического питания провела анализ организации работы в системе аутсорсинга в четырех субъектах Федерации и, оценив нормативно-правовое сопровождение передачи на договорной основе функций по приготовлению диетических блюд внешнему исполнителю, предложила разработать критерии эффективности организации лечебного питания для использования их при контроле работы аутсорсера, а также обязательную оценку риска аутсорсинга и его экономическую эффективность [47].

Столкнувшись с растущими расходами на здравоохранение, правительства осуществили новые реформы по контролю расходов и улучшению эффективности и качества медицинских услуг. Больницы стали заинтересованы в снижении суммарных расходов за счет минимизации производственных мероприятий и вспомогательной деятельности [48]. В зарубежных исследованиях выявлено, что существует максимальное увеличение масштаба аутсорсинга, поэтому организации здравоохранения должны подготовить надлежащие механизмы управления комплексными сделками, связанными с аутсорсингом, чтобы расширить зону контроля над внешними поставщиками настолько долго, пока эффективность общих показателей не будет вызывать сомнения [49, р. 277]. Частные и государственные поставщики здравоохранения могут получить выгоду от более надежной модели принятия решений о масштабе мероприятий, которые могут быть подвергнуты аутсорсингу.

Результаты оценки по контролю за инфекциями и эффективностью уборки больниц в Великобритании с учетом расходов на аутсорсинг хозяйственно-бытового обслуживания больниц увеличиваются из-за удорожания услуг [50, р. 448]. Однако это невозможно, по мнению руководства больниц, и необходимо, по мнению поставщиков. Данная проблема ведет только лишь к ухудшению качества самой услуги, что вызывает сомнение в эффективности аутсорсинга. Проведенный анализ качества уборки Институтом управления здравоохранением (Institute of Healthcare Management) показал, что в «чистых» больницах, как правило, клининговые услуги выполняются штатным персоналом, интегрированным в команду отделения. Однако стоимость их услуг выше.

Авторы доклада Healthcare Market Review («Обзор рынка здравоохранения») пришли к выводу, что роль частного сектора в NHS (национальная служба здравоохранения Великобритании) растет под руководством коалиционного правительства. Доля рынка здравоохранения, переданная на аутсорсинг от NHS в частный сектор, составляла 4,8 % в 2009 г. и уже 7 % в 2014 г. [51]. В кейсе-исследовании на основании интервьюирования поставщиков, руководителей, персонала, профсоюзных работников крупных больниц Австралии и Италии, отмечено, что австралийские и итальянские менеджеры, имеющие четкое понимание ситуации, тем не менее стремятся снизить издержки за счет аутсорсинга в краткосрочном периоде и не стремятся повысить эффективность или качество услуг [52, р. 790].

#### **Методологические основы оценки эффективности здравоохранения**

Повышение эффективности – один из основных вопросов в условиях модернизации отрасли, решение которого во многом определяется действием организационно-экономических факторов. Медицинские организации стремятся к повышению эффективности деятельности в условиях ограниченных финансовых ресурсов, расширения правовой и экономической самостоятельности. Процесс повышения эффективности складывается из нескольких этапов: оценки уровня эффективности, анализа и разработки практических рекомендаций, принятия управленческих решений.

Внутренняя эффективность показывает, насколько рационально и эффективно используются имеющиеся ресурсы медицинской организации (материальные, кадровые, финансовые), а также показывает эффектив-

ность хозяйствования в здравоохранении. Внешняя эффективность определяет роль здравоохранения в системе общественного воспроизводства в целом на уровне отрасли и ее влияние на экономику страны или региона, на уровень производительности труда, предотвращение расходов на социальное страхование и социальное обеспечение.

Эффективность деятельности медицинских организаций – понятие системное, состоящее из трех важнейших и дополняющих друг друга понятий эффективности: медицинской, экономической и социальной. Для каждого вида эффективности необходимы специальный набор критериев оценки и методов. Общие требования к показателям: универсальность, возможность количественного выражения, минимальное число.

*Медицинская эффективность* – это степень достижения ожидаемых результатов в профилактике, лечении, диспансеризации, реабилитации больных [4, с. 250; 53, с. 606; 54, с. 46]. Медицинская эффективность измеряется множеством специфических показателей, характеризующих здоровье населения, например удельный вес излеченных больных, уменьшение числа случаев перехода заболеваний в хроническую форму, снижение уровня заболеваемости населения и инвалидности и многие другие [53, с. 251]. Однако, как считает Ф. Н. Кадыров, медицинская эффективность – это характеристика медицинской стороны деятельности системы здравоохранения или ее отдельных элементов [55, с. 37]. Выражается медицинская эффективность соотношением полученного медицинского результата с затраченными на это средствами, а степень достижения медицинского результата – это медицинская результативность.

*Социальная эффективность* – это степень достижения социального результата [4, с. 610], например, путем осуществления мер по профилактике заболеваний, предотвращению заболеваний и инвалидности определенной части населения, реабилитации и повышении качества активной жизни в обществе, в том числе к трудовой деятельности; предупреждению преждевременной смертности и увеличению продолжительности жизни людей, а также проведения мероприятий по повышению качества медицинской помощи и степени удовлетворенности населения уровнем медицинского обслуживания. Оценка проводится на макроуровне органами исполнительной и законодательной власти с участием общественных организаций и населения [40, с. 196].



*Экономическая эффективность* – это соотношение полученных результатов и произведенных затрат [54, с. 46; 55, с. 38]. *Экономический эффект* – один из результатов деятельности организации здравоохранения, который выражается в показателях прибыли или убытков и выражается как разница между доходами и затратами [4, с. 613; 53, с. 255].

Экономический эффект в здравоохранении измеряется величиной предотвращенного экономического ущерба в результате применения комплекса медицинских мероприятий, направленных на снижение заболеваемости населения, инвалидности, сокращение сроков нетрудоспособности и продолжительности лечения больных и т. д. Вычисляется как разница между экономическим ущербом вследствие заболеваемости или смертности обслуживаемого населения до и после применения новых медицинских технологий, лечебно-профилактических и организационных мероприятий.

Результаты тех или иных мероприятий здравоохранения, его служб и программ принято анализировать с позиций социальной, медицинской и экономической эффективности, между которыми приоритетными являются медицинская и социальная эффективность. Без оценки результатов медицинской и социальной эффективности не может быть определена и экономическая эффективность [55, с. 38].

При оценке эффективности важно учитывать различные аспекты многопланового понятия «эффективность системы здравоохранения» в зависимости от стейкхолдеров: правительства, учреждений, организаций здравоохранения, медицинского персонала, пациентов и домохозяйств [1, с. 144–145], что определяется их различными целями. Однако только лишь эффективность использования государственных средств, выделенных для достижения определенных социально-экономических показателей, не может являться достаточным основанием для обеспечения эффективности системы здравоохранения, основной задачей которой является сохранение здоровья населения.

Существует множество рейтингов эффективности здравоохранения (например, рейтинг эффективности систем здравоохранения, составленный агентством Bloomberg, табл. 3) и подходов к оценке эффективности здравоохранения [1; 27; 36; 55; 56; 57]. Рассмотрим один из них – метод Minmax.

Таблица 7.3

**Рейтинг эффективности систем здравоохранения  
некоторых стран мира**

Страна	2013	2014	2016 <sup>2</sup>	Оценка 2014/2016 гг.
Сингапур	2	1	2	78,6/88,9
Гонконг	1	2	1	77,5/84,2
Израиль	4	7	7	65,4/66,8
Швейцария	9	15	14	57,9/57,8
Великобритания	14	10	21	63,1/52,9
Франция	19	8	15	64,6/56,8
Венесуэла	26	38	43	42,3/40,6
Германия	30	23	39	51,6/42,6
Китай	37	26	19	49,5/54,3
Турция	44	31	25	46,3/49,8
США	46	44	50	34,3/32,6
Бразилия	—	50	54	23,9/28,9
Россия	—	51	55	22,5/24,3

*Методология исследования.* Измерение соотношения затрат и результатов на душу населения требует сравнения наличия, использования, доступности [58, р. 10] и клинической эффективности медицинских товаров и услуг в региональной системе здравоохранения, имея в виду, что каждый из этих показателей имеет равный «вес». Для стандартизированных в баллах (от 1 до 10) компонент и субкомпонент, как в Программе ООН «Индекс человеческого развития» (2011), так и докладе «Экономическая свобода мира» используются уравнения Minmax [59, р. 4].

Институт информации здравоохранения Канады (Canadian Institute for Health Information – CIHI) проводит расчет эффективности системы регионального здравоохранения провинций также по методу Minmax, который включает в себя семь последовательных шагов [60, р. 5–7, 26–29; 61, с. 145–146]:

<sup>2</sup> В рейтинге агентства Bloomberg она оценивается по трем ключевым показателям: средняя ожидаемая продолжительность жизни при рождении; государственные затраты на здравоохранение (доля ВВП на душу населения); стоимость медицинских услуг на душу населения. Выбор стран, включенных в рейтинг, определялся численностью населения страны (более 5 млн чел.); ВВП на душу населения (более 5 тыс. долл.); средней продолжительностью жизни (более 70 лет). См.: URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-09-29/u-s-health-care-system-ranks-as-one-of-the-least-efficient>

### §3. Характеристика системы здравоохранения на современном этапе

---

1. Если *предпочтительными* являются более *высокие* значения (например, обеспеченность семейными врачами), расчет производится по формуле:

$$\frac{(\text{уровень региона} - \text{мин}(\text{ранг региона}))}{(\text{макс}(\text{ранг региона}) - \text{мин}(\text{ранг региона}))} \times 10^*. \quad (7.1)$$

2. Если *предпочтительными* являются более *низкие* значения (например, время ожидания), расчет производится по формуле:

$$\frac{(\text{макс}(\text{ранг региона}) - \text{уровень региона})}{(\text{макс}(\text{ранг региона}) - \text{мин}(\text{ранг региона}))} \times 10^*, \quad (7.2)$$

где \* – дробь умножается на 10 ((7.1) и (7.2)), так как по каждому показателю принимается стандартная оценка по шкале от 0 до 10.

3. Результаты по каждому показателю из субкомпонент агрегируются, суммируются Minmax баллы по каждому показателю, а затем еще раз с использованием метода Minmax провинциям присваиваются баллы по шкале от 0 до 10 для каждого субкомпонента.

4. Рассчитанные коэффициенты субкомпонент далее агрегируются с помощью то же метода, но на этот раз с помощью субоценки компонент, а не показателей. Это дает провинциям оценку по шкале от 0 до 10 для каждого компонента (например, наличия ресурсов).

5. Баллы «оценки» всех четырех компонентов суммируются и агрегируются на основе метода Minmax для оценки общих результатов по каждой провинции по шкале от 0 до 10.

6. Аналогичная процедура применяется для получения оценки затрат (расходов) на здравоохранение.

7. Наконец, оценка суммируется и в последний раз используется расчет Minmax, чтобы дать региону полную оценку эффективности на основе соотношения затрат и результатов по шкале от 0 до 10.

Для оценки эффективности регионального здравоохранения Российской Федерации использован тот же подход. Статистические данные, доступные в РФ, не позволяют провести расчет индекса регионального<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Использован термин «региональное» здравоохранение, поскольку в России, в отличие от Канады («индекс провинциального здравоохранения»), административной единицей является регион, а не провинция. В качестве региона анализируется федеральный округ или субъект Российской Федерации.

здравоохранения по всем показателям, доступным в Канаде, поэтому использованы четыре группы компонентов, декомпозированные в отдельные показатели, которые подбираются на основе методики, рассматриваемых задач и имеющихся статистических данных [61, с. 146–147]. В частности, в расчет индекса регионального здравоохранения включены показатели, представленные в Единой межведомственной информационно-статистической системе, раздел «Министерство здравоохранения Российской Федерации» [19].

*Измерение индекса регионального здравоохранения* (соотношение ресурсы/результат) РФ может проводиться на основе имеющихся данных о состоянии здравоохранения с помощью Minmax (Maxmin) метода по четырем компонентам:

1. *Наличие медицинских ресурсов – обеспеченность* на 10 тыс. населения: врачами, средним медицинским персоналом, больничными койками; учреждениями, оказывающими медицинскую помощь населению.

2. *Использование ресурсов*: средняя длительность пребывания больного на койке, дн.; средняя занятость койки, дн.; число операций на одного врача хирургического профиля; стоимость единицы объема оказанной медицинской помощи, руб. и др.

3. *Доступность ресурсов*: удовлетворенность населения медицинской помощью, процент от числа опрошенных; мощность амбулаторно-поликлинических учреждений, тыс. посещений в смену; среднее число посещений лечебно-профилактического учреждения на одного жителя и др.

4. *Медицинская эффективность*: заболеваемость с впервые в жизни установленным диагнозом злокачественного новообразования, на 100 тыс. чел.; ожидаемая продолжительность жизни при рождении, лет; число дней временной нетрудоспособности на 100 работающих.

Оценка эффективности регионального здравоохранения, проведенная методом Minmax на основе исследования динамики семнадцати показателей, характеризующих компоненты наличия, использования, доступности ресурсов и медицинской эффективности, в период активного реформирования здравоохранения и оптимизации ресурсов в 2008–2012 гг. указывает на разнонаправленность и неоднозначность их влияния на региональное здравоохранение. Однако можно выявить компоненты, которые существенно влияли на снижение эффективности или, наоборот, ее повышали. Так, например, более низкая эффективность регионального здравоохранения в Северо-Кавказском округе обусловлена недостаточным наличием ресурсов

здравоохранения и низкой эффективностью их использования. В Дальневосточном и Уральском федеральных округах не получилось обеспечить соответствующий уровень доступности медицинской помощи [62, с. 222]. Соотношение затрат на реализацию программы государственных гарантий и полученного результата, рассчитанного по методу Minpax, показывает, что высокие расходы не всегда ведут к высокой эффективности регионального здравоохранения. При этом низкие расходы могут сопровождаться высоким и низким результатом. В частности, на протяжении всего периода исследования затраты на здравоохранения в Приволжском федеральном округе были низкие, а результативность – средней или высокой. Средних результатов не было достигнуто ни при каких затратах [62, с. 222].

В частности, было установлено, что в Сибирском федеральном округе, с точки зрения эффективности здравоохранения, затраты и расходы адекватны друг другу, но необходимо обратить пристальное внимание на показатели здоровья населения (компонент «медицинская эффективность»), которые являются одними из самых низких. Безусловно, в Сибирском регионе сложный климат, на его территории расположено большое количество промышленных предприятий, что неблагоприятно сказывается на экологии, оказывающей влияние на здоровье [62, с. 221]. Ведь уровень экологии, а также уровень образования, обеспеченности жильем, развития транспорта и сельского хозяйства являются детерминантами здоровья нации [63].

### **Комплексная оценка эффективности систем здравоохранения Сибирского федерального округа**

Для осуществления комплексного анализа деятельности систем здравоохранения в субъектах Сибирского федерального округа Российской Федерации за 2005–2013 гг. по выбранным критериям (четыре компонента: наличие ресурсов, использование ресурсов, доступность и медицинская эффективность, декомпозированных в 14 показателей) была использована та же адаптированная методика оценки эффективности здравоохранения [62, с. 143–156], предложенная Институтом информации здравоохранения Канады [60].

Обеспеченность врачебным медицинским персоналом в субъектах Сибирского федерального округа существенно различается. Наибольшие значения зафиксированы в Томской области, наименьшие – в Республиках Хакасия и Бурятия (61,2–57,6; 31,9–33,1 и 32,4–35,5 врачей на 10 тыс.

населения, соответственно) (рис. 7.6). Обеспеченность средним медицинским персоналом за указанный период в восьми округах увеличилась на 2–5 %, в двух округах изменилась не значительно, и зафиксировано снижение показателя в двух областях: Томской – на 16,3 %, Новосибирской области – на 12,65 % (рис. 7.6).

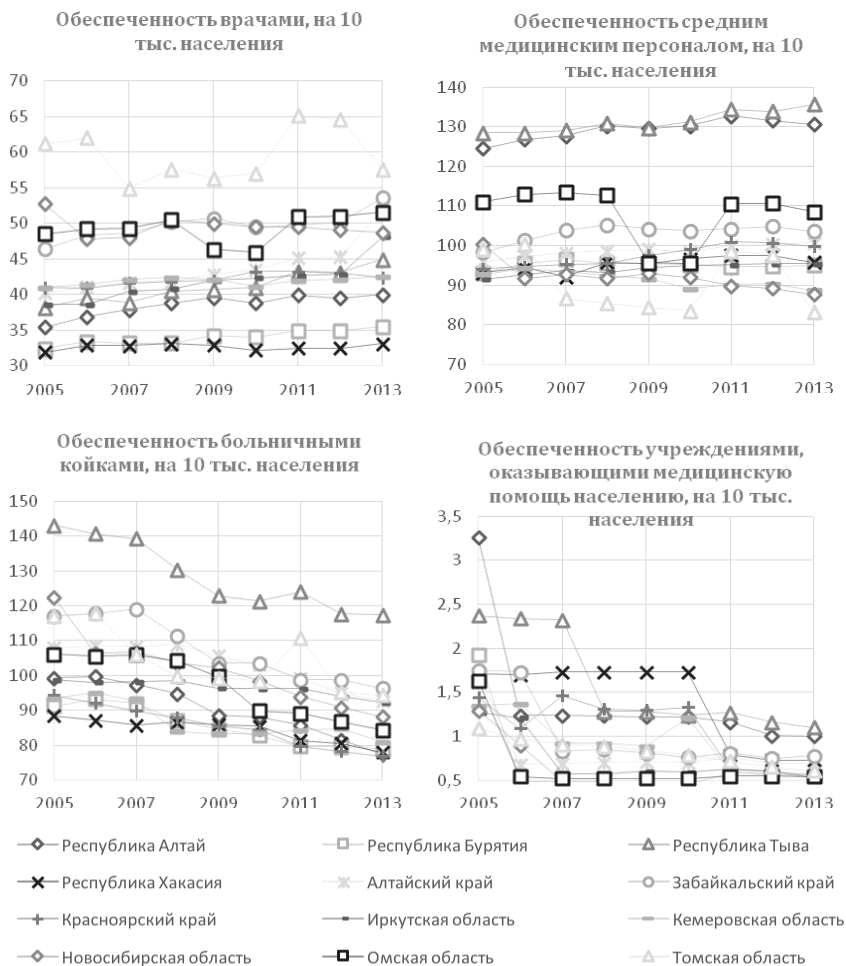


Рис. 7.6. Обеспеченность ресурсами систем здравоохранения в субъектах Сибирского федерального округа

Обеспеченность больничными койками, как и учреждениями, оказывающими медицинскую помощь населению, в течение 2005–2013 гг. снижалась во всех субъектах округа. Так, если обеспеченность больничными койками в среднем снижалась на 16,96 % и находилась в пределах 76,8–117,4 на 10 тыс. населения, то обеспеченность учреждениями здравоохранения снизилась в среднем на 60,20 % (рис. 7.6). Наибольшее число учреждений, оказывающих медицинскую помощь<sup>4</sup>, зафиксировано, за исключением 2005 г., в Республике Тыва – 2,34–1,10 на 10 тыс. населения (рис. 7.6). Указанные процессы неразрывно связаны с реформированием системы здравоохранения и оптимизацией имеющихся ресурсов, осуществляемых в рамках национальных и региональных проектов здравоохранения [62, с. 221].

Показатели, характеризующие использование ресурсов здравоохранения, представлены в натуральном и стоимостном выражении. Средняя длительность пребывания больного на койке на протяжении 2005–2013 гг. постепенно снижалась на 10,62 %: с наибольшего значения в Красноярском крае – 15 дн. (диапазон 15–12,29 дн.) до наименьшего показателя – 9,4 дн. в Республике Алтай в 2013 г. (диапазон 10,3–9,4 дн.) (рис. 7.7). Вариация показателя «средняя занятость койки, дн./год» в течение периода исследования в субъектах была разнонаправленной, сопровождаясь увеличением в 7 из 12 субъектов округа. Например, наиболее активно использовался коечный фонд в Иркутской области, где занятость койки за период исследования составила 339–334 дн., несмотря на небольшое снижение показателя в Кемеровской области с 333 до 330 дн. (рис. 7.7). В Новосибирской области коечный фонд использовался не так интенсивно на протяжении всего периода, однако рост показателя составил 25,29 % (261–327 дн.), что свидетельствует о выраженной эффективности предпринятых организационных мероприятий, направленных на стабилизацию и совершенствование ситуации.

В Новосибирской области коечный фонд использовался не так интенсивно на протяжении всего периода, однако рост показателя составил 25,29 % (261–327 дн.), что свидетельствует о выраженной эффективности предпринятых организационных мероприятий, направленных на стабилизацию и совершенствование ситуации.

---

<sup>4</sup> Показатель рассчитан как отношение числа учреждений, оказывающих медицинскую помощь населению к численности постоянного населения.

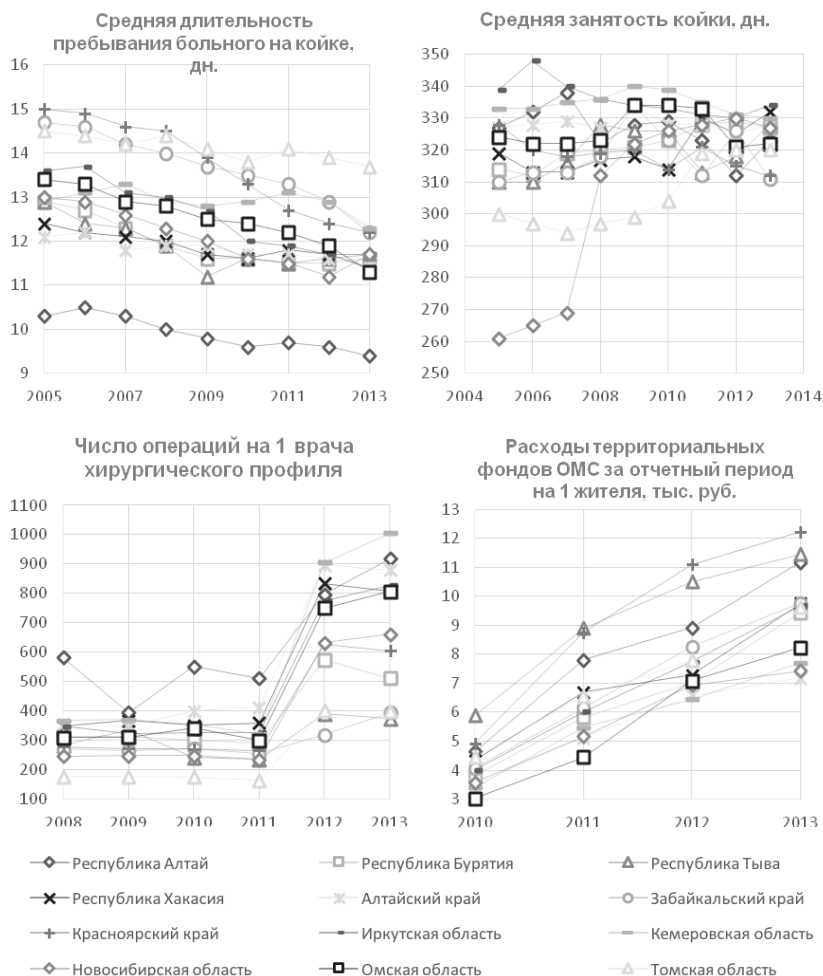


Рис. 7.7. Использование ресурсов систем здравоохранения в субъектах Сибирского федерального округа

Число операций, выполняемых одним врачом хирургического профиля<sup>5</sup>, варьировало по субъектам более значительно, поэтому анализ пока-

<sup>5</sup> Показатель рассчитан как отношение численности врачей хирургического профиля (с 2012 г. – хирургов) к числу проведенных операций за год (в условиях амбулаторно-клинического учреждения и круглосуточного стационара).



зателя проведен по методу «среднего значения». Например, наибольшая хирургическая активность отмечена в Республике Алтай и Кемеровской области, где проводилось до 988 и 1 005 операций, соответственно, наименьшая – в Томской области и Республике Тыва (до 400 и 374 операций, рис. 7.7). Так, среднее число операций, проведенных врачом хирургического профиля в год по субъектам округа, составило: 2008 г. – 323,5; 2009 г. – 310,9; 2010 г. – 319,5; 2011 г. – 306,6; 2012 г. – 658,9; 2013 г. – 682,6. Рост показателя в субъектах составил 1,5–2,7 раза, при этом отклонения зафиксированы в обоих направлениях: снижение показателя от арифметического среднего до 50 % в Республике Тыва и Забайкальском крае, увеличение – до 30–40 % в Кемеровской области и Республике Алтай, что указывает на различную интенсивность использования трудовых ресурсов, в частности врачей-хирургов.

Анализ расходов на оказание медицинской помощи на одного жителя проведен на основе отношения израсходованных средств территориальных фондов обязательного медицинского страхования за отчетный период к численности постоянно проживающего в субъекте населения. Во всех субъектах Сибирского федерального округа за период 2010–2013 гг. количество израсходованных средств увеличилось не менее чем два раза: с 3,03 тыс. руб. в Омской области в 2010 г. до 12,22 тыс. руб. в Красноярском крае в 2013 г. (рис. 7.7). В Красноярской области и Республике Тыва в 2013 г. показатель превышал среднее значение по Сибирскому федеральному округу более чем на 20 % – 9,5 тыс. руб. на одного жителя (28,60 и 20,48 %, соответственно), в Кемеровской и Новосибирской областях они были ниже на 19,04 и 21,86 %, соответственно. Диапазон различий обусловлен перечнем медицинских услуг, включенных в программу обязательного медицинского страхования и субсидий, выделяемых на оказание медицинской помощи органами государственного управления субъектов округа.

Мощность амбулаторно-поликлинических учреждений, рассчитанная как производное от деления числа посещений в смену, умноженного на 10 000, на численность населения на конец года, вариабельна при сравнении показателей субъектов округа, но достаточно постоянна на протяжении всего периода исследования. Наибольшая мощность учреждений отмечена в Республике Тыва – 288,2–322,4 посещений в смену на 10 тыс. жителей (максимальное и минимальное значение за 2005–2013 гг., рис. 7.8). Менее 200 посещений в смену характерно для амбулаторно-по-

ликлинических учреждений Республики Бурятия. Среднее значение показателя мощности в субъектах округа составило 245,8 посещений в смену на 10 тыс. жителей: от 263,3 до 248,8 посещений в смену в 2005 и 2013 гг., соответственно.

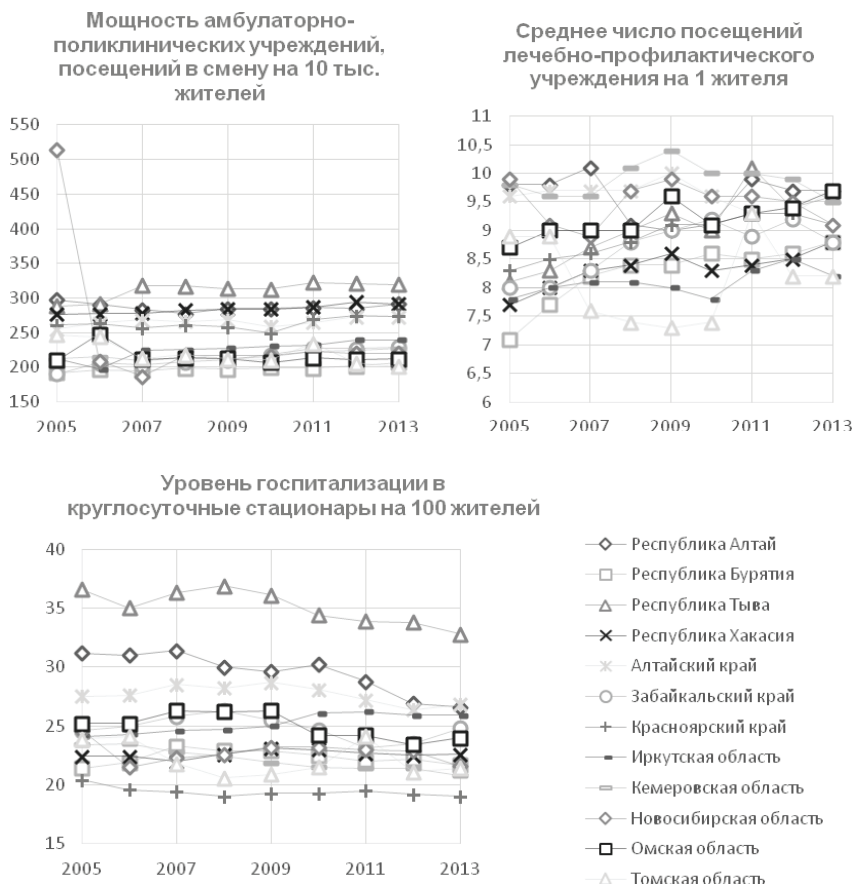


Рис. 7.8. Доступность ресурсов систем здравоохранения в субъектах Сибирского федерального округа

Среднее число посещений лечебно-профилактического учреждения увеличилось во всех субъектах Сибирского федерального округа с 7,1 до 8,2 минимальных показателей посещений на одного жителя за 2005–2013 гг.

### §3. Характеристика системы здравоохранения на современном этапе

---

до 9,9–10,4 максимальных показателей за 2005–2009 гг. В последующие годы можно констатировать сближение максимальных и минимальных значений показателя: максимальные значения постепенно снижались до исходных значений, а минимальные увеличились на 15,5 % по сравнению с уровнем 2005 г. (рис. 7.8). Самая низкая посещаемость в смену имела место в медицинских учреждениях Иркутской области и Республики Бурятия, самая высокая – в Республике Алтай и Кемеровской области – 7,1–8,8 и 9,6–10,4, соответственно (рис. 7.8).

Уровень госпитализации в круглосуточные стационары показывает степень доступности стационарной помощи населению, однако, с другой стороны, высокий уровень госпитализации свидетельствует о недостаточной эффективности первичной медико-санитарной помощи, оказываемой в амбулаторно-поликлинических условиях. Наиболее высокие показатели на протяжении всего периода исследования были зафиксированы в Республике Тыва 38,6–32,8 на 100 человек. В других субъектах округа уровень госпитализации варьировал в 2005 г. с 20,4 до 31,2 на 100 человек и с 19,0 до 26,8 на 100 человек в 2013 г. (рис. 7.8).

Оценка степени достижения ожидаемых результатов по профилактике, диагностике, лечению, диспансеризации и реабилитации пациентов проведена с использованием показателя компоненты «Медицинская эффективность». Заболеваемость с впервые в жизни установленным диагнозом злокачественного новообразования за исследуемый период в той или иной степени возросла практически во всех субъектах округа, изменяясь от 1,2 % в Республике Алтай до 59,2 % в Республике Хакасия (рис. 7.9). В пяти субъектах показатель вырос на 6–20 %, в пяти других – на 20–30 % (рис. 7.9). Согласно прогнозам ВОЗ, уровень заболеваемости злокачественными новообразованиями, как и смертность по данной причине, возрастают во всем мире [64; 65, с. 34], однако такой выраженный рост показателя в Республике Хакасия вызывает озабоченность и требует более глубокого исследования.

Показатель «Ожидаемая продолжительность жизни при рождении» характеризует длительность жизни одного человека из поколения, родившегося в данном году, при условии, что на протяжении всей жизни этого поколения уровень смертности в каждом возрасте останется таким, как в год, для которого рассчитан показатель. Средняя ожидаемая продолжительность жизни при рождении жителей Сибирского федерального округа в 2013 г. составила 61,79–70,33 года (рис. 7.9), демонстрируя рост в

пределах 7–13 %. Наиболее высокая ожидаемая продолжительность жизни зафиксирована в Томской и Новосибирской областях, наиболее низкая – в Республике Тыва.

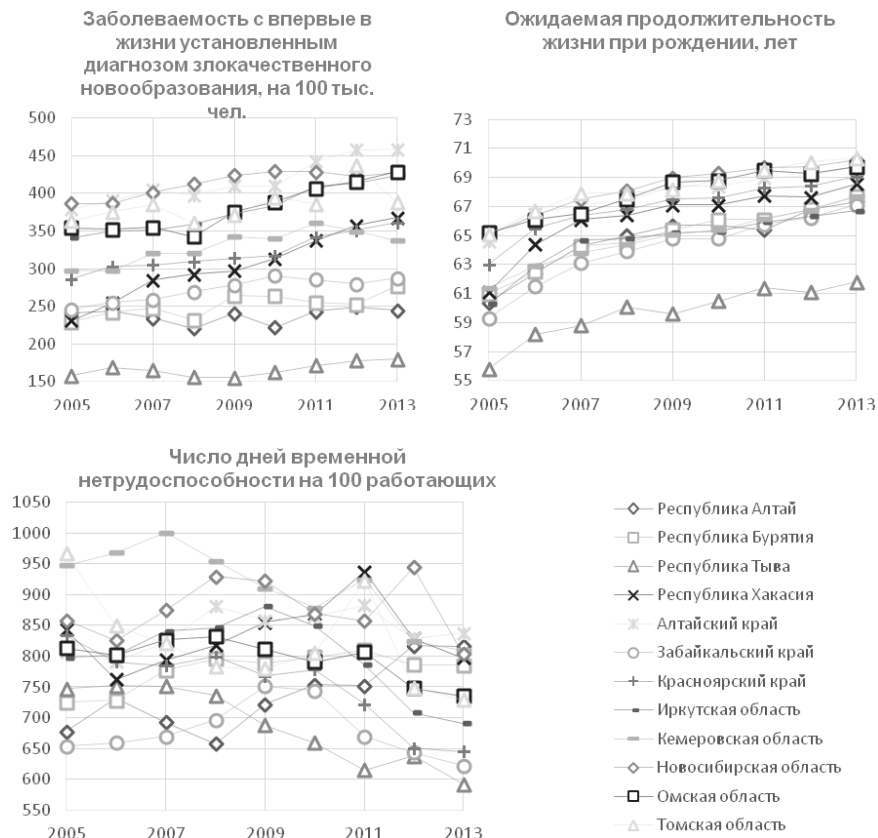


Рис. 7.9. Медицинская эффективность систем здравоохранения в субъектах Сибирского федерального округа

Число дней временной нетрудоспособности на 100 работающих различается значительно: от устойчивого снижения в 9 из 13 субъектах округа (в среднем к концу периода на 13,56 %) до роста в трех: Республиках Алтай, Бурятия и в Алтайском крае (на 20,46, 8,30, 3,89 %, соответственно). Наибольшее число дней нетрудоспособности в 2005 г. – 966,5 дн. на

100 работающих – приходится на Томскую область, однако к концу периода наблюдения данный показатель снизился на 24,54 % до 729,3 дн. на 100 работающих. Наименьшее число дней нетрудоспособности – 592,5 на 100 работающих – было зафиксировано в 2013 г. Республике Тыва (рис. 7.9).

Комплексная оценка компонентов наличия, использования и доступности ресурсов здравоохранения, а также медицинской эффективности на основе отобранных показателей методом Minmax позволила установить, что на протяжении практически всего периода исследования самый высокий уровень обеспеченности ресурсами отмечается в Алтайском крае. Наименьшая обеспеченность ресурсами системы здравоохранения зафиксирована в республиках Хакасия и Алтай [66, р. 391]. Наилучшим образом имеющиеся ресурсы используют учреждения здравоохранения республики Алтай и Алтайского края, их совокупный результат по методу Minmax в основном выше семи баллов. Однако если в Республике Алтай отмечается недостаток обеспеченности ресурсами, то в Алтайском крае их количество наибольшее по сравнению с другими субъектами округа. Динамика результата в остальных субъектах имела разнонаправленный характер [66, р. 392].

Стабильно лучшую на протяжении периода исследования доступность ресурсов демонстрируют Республики Алтай и Тыва, тогда как в других субъектах она либо остается на исходном уровне, либо варьирует в пределах нескольких баллов. При этом значительно улучшить доступность ресурсов здравоохранения не удалось ни одному субъекту за исследуемый период [Там же].

Медицинская эффективность во всех округах на протяжении всего периода исследования находилась на достаточно низком уровне. Наилучший результат по данному компоненту отмечен в Забайкальском крае, где вариация коэффициентов составила 6,71–10 баллов и в Республике Алтай за период 2005–2011 гг., однако в последние два года он существенно снизился в субъекте до 4,83 балла. Стабильно средний результат зафиксирован в Омской области – в среднем около 5 баллов [66, р. 393].

Анализ динамики изменения коэффициентов, как по компонентам, так и по всему результату в целом (табл. 7.4), позволил выявить особенности каждого субъекта Сибирского федерального округа, обуславливающие лучшие или худшие показатели по сравнению с другими субъектами регионами. К высоким результатам деятельности, полученным по методу Minmax, отнесены коэффициенты от 7,5 до 10 баллов, средним – от 4,0 до 7,49 и низким – от 0 до 3,99 баллов. В группе лучших оказались три субъ-

екта округа: Республики Тыва и Алтай, а также Алтайский край. В Республике Тыва высокий результат был достигнут за счет высокой доступности ресурсов здравоохранения (7,26–10 баллов) и достаточно высокой медицинской эффективности (8,49–10 баллов) в последние четыре года исследования. Несмотря на один из самых низких коэффициентов наличия ресурсов, Республика Алтай была практически безусловным лидером на протяжении 2005–2011 гг., что было обусловлено высокой степенью доступности и использования ресурсов. В последние два года в республике обеспеченность ресурсами стала еще ниже – произошло снижение результатов по компонентам «Использование ресурсов» и «Медицинская эффективность» до 0,67 баллов и на 4–5 баллов. В Алтайском крае сложилась, как может показаться на первый взгляд, достаточно эффективная и стабильная система здравоохранения, поскольку средний результат был выявлен только в 2010 г., но высокая степень наличия и использования ресурсов не сопровождаются такой же доступностью и медицинской эффективностью, причем последняя указанная компонента к 2008 г. снизилась два раза, а в 2013 г. составила только 0 баллов [Там же].

К сожалению, оставшиеся девять субъектов Сибирского федерального округа продемонстрировали средние и низкие показатели эффективности систем здравоохранения, причем в первые годы периода исследования у всех из них был низкий результат [66, с. 394].

Таблица 7.4

**Динамика результатов деятельности систем здравоохранения  
в субъектах Сибирского федерального округа Российской  
Федерации в 2005–2013 гг. по методу Minmax**

Субъект	Год								
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Республика Алтай	10,00	10,00	10,00	10,00	8,49	9,70	9,72	5,85	6,47
Республика Бурятия	1,97	2,62	3,13	2,52	2,63	2,82	3,83	4,38	1,89
Республика Тыва	8,41	7,43	7,83	9,73	10,00	10,00	10,00	8,01	9,90
Республика Хакасия	1,43	4,46	3,64	2,76	2,60	1,68	1,77	3,06	3,20
Алтайский край	9,80	9,84	8,95	8,38	7,89	5,71	9,93	10,00	10,00
Забайкальский край	1,75	2,95	3,71	4,84	4,97	6,00	3,43	5,43	4,07
Красноярский край	1,11	2,61	2,94	3,11	3,83	2,64	4,07	4,52	3,37
Иркутская область	0,59	2,24	3,26	2,82	1,47	1,69	3,69	5,92	4,90
Кемеровская область	0,27	0,87	1,81	2,59	2,47	2,81	2,26	5,04	4,42
Новосибирская область	1,71	0,00	0,00	1,32	1,21	3,04	4,63	3,84	3,50
Омская область	2,51	4,52	3,71	3,57	3,90	5,32	5,97	5,34	5,10
Томская область	0,00	1,80	0,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Оценка эффективности систем здравоохранения субъектов Сибирского федерального округа, проведенная методом Minmax на основе исследования динамики четырнадцати показателей, характеризующих компоненты наличия, использования, доступности ресурсов и медицинской эффективности, в период активного реформирования здравоохранения и оптимизации ресурсов в 2005–2013 гг. указывает на разнонаправленность и неоднозначность их влияния на региональное здравоохранение. Однако можно выявить компоненты, которые существенно влияли на снижение эффективности или, наоборот, ее повышали.

При выделении типологических групп субъектов Российской Федерации по показателям экономической эффективности в части фактических показателей реализации территориальных программ государственных гарантий по объемам и финансовому обеспечению оказанной медицинской помощи ни один из регионов Сибирского федерального округа не был отнесен в группу низкого уровня эффективности. Семь субъектов оказались в группе высокого уровня эффективности (Республики Алтай и Бурятия; Забайкальский и Красноярский край; Кемеровская, Омская и Томская области), два – среднего (Республика Хакасия, Новосибирская область) и три субъекта были отнесены к уровню ниже среднего – Республика Тыва, Алтайский край, Иркутская область [67]. Было установлено, что соотношение затрат на реализацию программы государственных гарантий и полученного результата, рассчитанного по методу Minmax, показывает, что высокие расходы не всегда ведут к высокой эффективности регионального здравоохранения. При этом низкие расходы могут сопровождаться высоким и низким результатом [62, с. 222].

Уместно предположить, что, если финансовая эффективность и обеспеченность финансовыми ресурсами субъектов округа не вызывает сомнения, то в субъектах с низкой эффективностью систем здравоохранения, рассчитанной по методу Minmax, необходимы структурные и управленческие преобразования для устранения выявленных недостатков при комплексном анализе по компонентам наличия, использования, доступности ресурсов и медицинской эффективности.

Равновесие, обеспечивающее устойчивое развитие здравоохранения возможно только при условии сбалансированности всех компонентов региональных систем, влияния внешних и внутренних факторов, определяющих развитие и благополучие населения региона. Политика здравоохранения, ее правовое регулирование должны воздействовать на социальные

детерминанты, определяющие здоровье [68, р. 46]. При этом направленность государственной политики на преодоление несбалансированности регионального здравоохранения и соблюдение принципа социальной солидарности и справедливости позволит достичь целевых ориентиров политики «Здоровье-2020». А именно: сократить преждевременную смертность; повысить среднюю продолжительность жизни населения; сократить несправедливость в отношении здоровья (целевой ориентир, относящийся к социальным детерминантам); повысить уровень благополучия населения; обеспечить всеобщий охват услугами здравоохранения и право на здоровье [69, с. 108].

#### **§4. Пути оптимизации системы здравоохранения**

Современные подходы к исследованию института здравоохранения позволяют говорить о наличии в системе здравоохранения собственных институциональных признаков, которые включают:

- социальную природу его происхождения и потребностей в развитии, обусловленных жизненно важными интересами граждан, государства и общества;

- объектную социальную среду составляют все категории граждан и их отношения, которые выражают разнообразные потребности и интересы в области медицины и охраны здоровья, что необходимо учитывать в стратегическом планировании социальной политики государства;

- субъектную основу управления функционированием и развитием института здравоохранения, которая имеет свои особенности, отражающие уровень общественно-государственных отношений и взаимодействий институтов государства и гражданского общества, что в целом и определяет главные потребности в постоянном совершенствовании и социальной модернизации этого института;

- институциональное развитие сферы здравоохранения базируется на собственных воспроизводимых и модернизирующихся в соответствии с изменением общественных интересов и потребностей социальных норма, традиций, обычаев и т. п. [54, с. 302].

Подробно исследовав причины смертности и возможности ее сокращения по основным классам, А. Г. Аганбегян пришел к выводу о необходимости перейти к программно-целевому управлению по сокращению наиболее значимых причин смертности [70; 71], а также высказал предложения по реформе здравоохранения:



- переход к эффективной системе – программно-целевому управлению – для сокращения смертности в России в возможно более короткие сроки;
- разработка более радикальных мер, направленных на повышение качества работы врачей и всего медперсонала;
- повышение доступности качественной медицинской помощи повсеместно в стране при резком усилении ответственности органов власти за качество предоставляемой населению медицинской помощи;
- развитие самоуправляемых профессиональных объединений врачей с широкими полномочиями по аттестации, аккредитации, стандартизации, подбору и расстановке кадров; предоставление медицинским учреждениям самостоятельности, в том числе в проведении финансовой и инновационной политики;
- главное – разработка принципиально новых схем финансирования здравоохранения, в том числе с привлечением средств населения без снижения уровня реальных доходов.

При реализации этих предложений можно поставить задачу: достичь показатели смертности и продолжительности жизни за 3–5 лет развивающихся стран, за 10–15 лет – развитых стран [72, с. 149]. В частности, для кардинального сокращения смертности от сердечно-сосудистых заболеваний приоритетными направлениями могут быть следующие:

1. Предотвращение смертности за счет проведения операций на сердце (типа коронарного шунтирования). Потребность в таких операциях как минимум 200 тыс. в год. У нас делают примерно 70 тыс. Но многим больным достаточно установить стенты, улучшающие кровоток, что значительно дешевле. Эти меры потребуют значительных финансовых ресурсов, но позволят существенно сократить смертность от сердечно-сосудистых заболеваний.

2. Самый эффективный путь сокращения смертности от сердечно-сосудистых заболеваний – диагностика мужского населения в возрасте 40–45 лет, которая позволит сформировать группы риска. За счет медикаментозного лечения и систематического обследования можно предотвратить обострение ишемической болезни сердца и наступление предынфарктного состояния.

3. Коренное улучшение лечения инсульта возможно на основе использования современных методов в специализированных клиниках, разработанных ведущими медицинскими институтами, например, Институтом инсульта [73, с. 127].

Международный опыт (Австралия, США, Бразилия, Эстония, Корея [74–77]) свидетельствует, что следует учитывать потенциальные проблемы при внедрении программ финансирования по результатам. Так, организации могут уделять больше внимания тем аспектам медицинской помощи, результаты которых могут поощряться, в ущерб недооцениваемым аспектам. Кроме того, если доля финансирования в соответствии с данным подходом в общем объеме оплаты невысока, то стимулы недостаточны для улучшения качества и эффективности предоставления медицинских услуг. В значительной мере эффективность применения зависит от умения финансирующей стороны оценивать результаты и подбирать соответствующие финансовые стимулы для медицинских организаций. При разработке и внедрении программ финансирования надо тщательно учитывать институциональные, поведенческие и системные факторы. Важными для успеха являются такие аспекты программы, как включение заинтересованных сторон и в ее разработку; использование не только бонусов, но и штрафов в зависимости от ситуации; преобладание абсолютных, а не относительных показателей; встраивание программы в общую систему финансирования. Система финансирования по результатам является инструментом стратегического влияния на поставщиков медицинских услуг. Государство может в соответствии с поставленными приоритетами (профилактика, лечение социально значимых заболеваний и т. п.) стимулировать оказание услуг более высокого качества [78, с. 56].

Поэтому приоритетами необходимой государственной политики в сфере здравоохранения становятся:

1. Повышение доступности и качества первичной медико-санитарной помощи (ПМСП) на основе укрепления участковой службы.
2. Расширение лекарственного обеспечения в амбулаторных условиях.
3. Оценка действующей модели финансирования здравоохранения.
4. Развитие страховых принципов финансирования здравоохранения [17].

Среди девяти добровольных глобальных целей по профилактике неинфекционных заболеваний для достижения к 2025 г. Всемирной организацией здравоохранения выделены два мероприятия на уровне национальных систем, связанных с системой организации медицинской помощи: цель восемь – обеспечение по крайней мере для 50 % людей, имеющих соответствующие показания, лекарственной терапии и консультирования (включая контроль гликемии) для профилактики инфарктов миокарда и инсультов [79, с. 10]; цель девять – 80 % уровень наличия приемлемых

в ценовом отношении базовых технологий и основных лекарственных средств, включая препараты-дженерики, необходимых для лечения основных неинфекционных заболеваний как в государственных, так и в частных лечебных учреждениях [79, с. 12]. Также уделяется внимание разработке новых подходов к реформированию системы оказания медицинских услуг населению с хроническими заболеваниями [80]. Поэтому совершенствование системы менеджмента необходимо современному здравоохранению в реалиях изменения подходов к управлению ресурсами, внедрению инновационных технологий в процесс оказания медицинской помощи [33, с. 99].

В монографии О. В. Кожевиной и соавторов аргументирована роль кластеризации показателей социально-экономического развития регионов и дифференцированного подхода к оценке эффективности и устойчивости региональной экономики исходя из комплекса решаемых задач стратегического управления регионом [81]. Разработаны система индикаторов и показателей для оценки эффективности социально-экономического развития территорий, а также предложены алгоритм и методика процедуры оценивания. При проведении статистического исследования, значительное внимание уделялось охвату всех Федеральных округов Российской Федерации и субъектов РФ. Предложенная методика и проведение мониторинга по предложенным показателям позволяет выявлять проблемы стратегического управления территориями на региональном уровне, анализировать тенденции их пролонгированного влияния на экономику и социальную сферу регионов. Проведенный институциональный анализ позволил сформировать оптимальную бизнес-модель инновационно-ориентированного предпринимательства с учетом региональной институциональной среды и уровня социально-экономического развития территории.

Системный комплексный анализ технологического обновления, а не замена отдельного вида оборудования другим, как это у нас почти повсеместно практикуется, – путь к высокой эффективности. При правильном ведении хозяйства всегда надо применять современные высокотехнологичные системы. Всякое социально-экономическое решение направлено на получение экономической и социальной выгоды. Если это решение экономическое, например, связано с технологическим обновлением того или иного производства, оно должно нести в себе потенциал экономической эффективности, иметь вполне определенный срок окупаемости, обеспечить собственнику определенный уровень прибыльности,

и все эти эффекты надо тщательно определить, рассчитать, реализовать. Эффективность в широком смысле слова означает не только получение экономического эффекта, но и тщательный анализ возникающих социальных эффектов в виде более высокой квалификации сотрудников, облегчения труда, улучшения потребительских свойств продукции и усиления их влияния на эффект у потребителя – все это надо тщательно классифицировать и учитывать. А самое главное – этого эффекта надо добиваться на деле, ведь именно ради него это мероприятие намечалось и реализовывалось [73, с. 134].

Общий вывод таков: надо подчинить бюджет задачам социально-экономического развития страны и именно с этих позиций проводить оценку исполнения государственного бюджета, в том числе и здравоохранения, на основе результирующих конечных показателей развития отраслей и сфер деятельности. Для этого при разработке бюджета нужен более тесный контакт Минфина, Минэкономразвития и профильных министерств – они вместе должны отвечать за эффективное расходование бюджетных средств. Необходимо усилить инвестиционную функцию, переведя часть бюджетных расходов в форму инвестиционных кредитов. В области государственно-частного партнерства необходимо на рубль бюджетных расходов привлекать 3–5 руб. частных средств и сделать это направление отдельным разделом бюджета развития [20, с. 149].

**Список библиографических ссылок**

1. Еремина С. Л., Куделина О. В. Мировой опыт оценки эффективности системы здравоохранения // ЭКО. Всерос. экон. журнал. 2014. № 10. С. 133–145.
2. Figueras, J., Saltman Ft., Busse R., Dubois H. Patterns and Performance in Social Health Insurance Systems // Social Health Insurance Systems in Western Europe. 2004. P. 81–140.
3. Лисицын Ю. П. О научных основах стратегии медицины и здравоохранения // Общ. здоровье и здравоохранение. 2008. № 3. С. 3–7.
4. Общественное здоровье и здравоохранение: национальное руководство / под ред. В. И. Стародубова, О. П. Щепина и др. М. : ГЭОТАР-Медиа, 2014. 624 с.
5. Укрепление здоровья и профилактика заболеваний: основные термины и понятия / под ред. А. И. Вялкова, Р. Г. Оганова. М. : Издат. дом «ГЭОТАР-МЕД», 2000. 24 с.
6. Оценка программ здравоохранения. Руководящие принципы. ВОЗ, 1981. 46 с.
7. Общественное здоровье и здравоохранение : учебник для интернов, ординаторов, слушателей циклов первичной переподготовки специалистов по дисциплине «Общественное здоровье и здравоохранение» / под ред. проф. Г. Н. Царик. Кемерово, 2012. 911 с.
8. Пути, ведущие к оценке деятельности системы здравоохранения. Руководство по проведению оценки деятельности системы здравоохранения на национальном или территориальном уровне. ВОЗ : Копенгаген, 2012. 98 с.
9. The Tallinn Charter: Health Systems for Health and Wealth. WHO, 2008. 4 p. URL: <http://www.euro.who.int/ru/publications/policy-documents/tallinn-charter-health-systems-for-health-and-wealth> (subscription required 23.09.2017).
10. Оценка деятельности систем здравоохранения: инструмент стратегического руководства в интересах здоровья в XXI веке. ВОЗ : Копенгаген, 2012. 19 с.
11. Health system performance assessment (HSPA) expert workshop. WHO, Copenhagen, Denmark, 2016. URL: <http://www.euro.who.int/en/health-topics/Health-systems/health-systems-governance/publications/2016/health-system-performance-assessment-hspa-expert-workshop-2016> (дата обращения: 23.09.2017).

12. Expert group meeting to enhance Health 2020 monitoring and reporting piecing together the health information puzzle. WHO, Copenhagen, Denmark, 2017. 26 p.

13. От инноваций к внедрению. Электронное здравоохранение в Европейском регионе ВОЗ. ВОЗ, Копенгаген, 2016. 121 с. URL: <http://www.ifap.ru/library/book574.pdf> (дата обращения: 07.10.2017).

14. Доклад о состоянии здравоохранения в мире, 2013: Научные исследования в целях достижения всеобщего охвата населения медицинскими услугами. Женева: Всемирная организация здравоохранения, 2013. URL: <http://www.who.int/whr/2013/report/ru> (дата обращения: 23.09.2017).

15. Концепция развития здравоохранения и медицинской науки в Российской Федерации. Одобрена Постановлением Правительства РФ от 5 ноября 1997 г. № 1387. URL: [http://base.garant.ru/12104340/#block\\_1000#ixzz4ubncmesn](http://base.garant.ru/12104340/#block_1000#ixzz4ubncmesn) (дата обращения: 07.10.2017).

16. Стратегия развития здравоохранения Российской Федерации на долгосрочный период 2015–2030 гг. URL: <https://www.rosminzdrav.ru/ministry/61/22/stranitsa-979/strategiya-razvitiya-zdravoohraneniya-rossiyskoy-federatsii-na-dolgosrochnyy-period> (дата обращения: 07.10.2017).

17. Российское здравоохранение в новых экономических условиях: вызовы и перспективы : доклад НИУ ВШЭ по проблемам развития системы здравоохранения / рук. авт. колл. С. В. Шишкин. М. : Изд. дом Высшей школы экономики, 2017. 84 с.

18. Об итогах работы Министерства здравоохранения Российской Федерации в 2016 году и задачах на 2017 год. Отчет о деятельности. 89 с. URL: <https://www.rosminzdrav.ru/open/kollegiya-ministerstva-zdravoohraneniya-rossiyskoy-federatsii/materialy-kollegii-ministerstva-zdravoohraneniya-rossiyskoy-federatsii/kollegiya-2017> (дата обращения: 07.10.2017).

19. Единая межведомственная информационно-статистическая система. Министерство здравоохранения РФ. URL: <http://www.fedstat.ru/indicators/start.do> (дата обращения: 07.10.2017).

20. Аганбегян А. Как госбюджет может стать локомотивом социально-экономического развития страны // Вопр. экономики. 2015. № 7. С. 142–151.

21. Куделина О. В., Бразовская Н. Г. Совершенствование системы управления трудовыми ресурсами медицинских организаций. Социальные аспекты здоровья населения [Электр. науч. журнал]. 2016. № 6 (52).

URL: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/796/30/lang,ru/> (дата обращения: 07.10.2017).

22. Шишкин С., Темницкий А., Чирикова А. Стратегия перехода к эффективному контракту и особенности трудовой мотивации медицинских работников // Экон. политика. 2013. № 4. С. 27–53.

23. Леонидова Г. В., Попов А. В. Удовлетворенность трудом как индикатор эффективности государственного управления (социологический анализ) // Экон. и соц. перемены: факты, тенденции, прогноз. 2014. № 3 (33). С. 84–99.

24. Herzberg F. One more time: how do you motivate employees? // Harvard business review. 2003. Vol. 81, Is. 1. P. 87–96.

25. Шишкин С. В., Потапчик Е. Г., Селезнева Е. В. Оплата пациентами медицинской помощи в российской системе здравоохранения : препринт WP8/2014/03. Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». М. : Изд. дом Высшей школы экономики, 2014. 48 с. URL: [https://www.hse.ru/data/2014/05/30/1325391100/WP8\\_2014\\_03\\_.pdf](https://www.hse.ru/data/2014/05/30/1325391100/WP8_2014_03_.pdf) (дата обращения: 07.10.2017).

26. Кочкина Н. Н., Красильникова М. Д., Шишкин С. В. Доступность и качество медицинской помощи в оценках населения : препринт WP8/2015/03. М. : Изд. дом Высшей школы экономики, 2015. 56 с. (Серия WP8 «Государственное и муниципальное управление»). URL: [https://www.hse.ru/data/2015/06/01/1097830961/WP8\\_2015\\_03\\_fff.pdf](https://www.hse.ru/data/2015/06/01/1097830961/WP8_2015_03_fff.pdf) (дата обращения: 07.10.2017).

27. Русских Т. Н. Математическое обеспечение мониторинга удовлетворенности потребителей качеством и доступностью медицинских услуг в регионе : монография. Орел : Картуш, 2016. 120 с.

28. Общественное здоровье и здравоохранение : учебник / под ред. В. А. Миняева, Н. И. Вишнякова. М. : МЕДпресс-информ, 2009. 656 с.

29. Итоговый отчет о результатах деятельности экспертных групп по проведению оценки эффективности расходов федерального бюджета и представлению предложений по их оптимизации. Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации. М., 2013. URL: [https://www.minfin.ru/ru/document/?id\\_4=19933](https://www.minfin.ru/ru/document/?id_4=19933) (дата обращения: 07.10.2017).

30. Ресурсы и деятельность медицинских организаций здравоохранения. Основные показатели здравоохранения. Часть VI. М. : ЦНИИОИЗ, 2017. 49 с.

31. Дементьева Е. Л., Кораблев В. Н. Планирование численности немедицинского персонала в медицинских организациях : монография / Е. Л. Дементьева, В. Н. Кораблев. Хабаровск : Изд-во ГБОУ ВПО ДВГМУ, 2015. 114 с.

32. Хабриев Р. У., Линденбратен А. Л., Комаров Ю. М. Стратегия охраны здоровья населения как основа политики государства // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. 2014. № 3. С. 3–5.

33. Куделина О. В. Модель компетенций руководителя здравоохранения: международный опыт внедрения распределенного лидерства // Рос. журнал менеджмента. 2016. Т. 14. № 4. С. 81–104.

34. Махнова Н. А. Совершенствование финансового обеспечения системы здравоохранения Российской Федерации в современных условиях // Сервис в России и за рубежом. 2015. Т. 9, № 2 (58). С. 133–140.

35. Доклад Федеральной антимонопольной службы о проблемах государственного контроля качества и безопасности медицинской деятельности. 2015. URL: <http://udmurtia.fas.gov.ru/analytic/16511> (дата обращения: 07.10.2017).

36. Кораблев В.Н. Оценка результативности и эффективности системы здравоохранения и медицинских организаций : монография. Хабаровск : Изд-во ГБОУ ВПО ДВГМУ, 2015. 236 с.

37. Глазьев С. Ю., Локосов В. В. Оценка предельно критических значений показателей состояния российского общества и их использование в управлении социально-экономическим развитием // Экон. и соц. перемены: факты, тенденции, прогноз. 2012. № 4 (22). С. 22–41.

38. Кораблев В. Н. Экономический анализ и планирование в здравоохранении (на примере противотуберкулезной службы). Хабаровск : Изд-во краевой клинической больницы Хабаровского краевого центра психического здоровья, 2001. 179 с.

39. Орешин А. А., Куделина О. В., Хлынин С. М. Особенности экономики здравоохранения в условиях рыночных отношений : учеб. пособие. Томск : Изд-во «Печатная мануфактура», 2009. 126 с.

40. Экономические методы управления в здравоохранении / В. В. Уйба, В. М. Чернышев, О. В. Пушкарев, О. В. Стрельченко, А. И. Клевасов. Новосибирск : ООО «Альфа-Ресурс», 2012. 314 с.

41. Селезнев В. Д., Волков С. Д. Проблемы конкуренции в российском здравоохранении // Науч. журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. 2016. № 1. С. 112–117.



42. Методические рекомендации для органов государственной власти субъектов Российской Федерации по применению механизмов государственно-частного взаимодействия в сфере здравоохранения. Москва, Минздрав России, 2015. 38 с. URL: [http://fedlab.ru/upload/medialibrary/bae/metodicheskie\\_rekomendatsii-mz-rf-po-gchp-10.03.15.pdf](http://fedlab.ru/upload/medialibrary/bae/metodicheskie_rekomendatsii-mz-rf-po-gchp-10.03.15.pdf) (дата обращения: 07.10.2017).
43. Конкурс «Лучший проект государственно-частного взаимодействия в здравоохранении». URL: <https://www.rosminzdrav.ru/news/2016/12/05/3315-v-ramkah-otkrytiya-rossiyskoy-nedeli-zdravoohraneniya-2016-ob-yavleny-pobediteli-vsrossiyskogo-konkursa-luchshiy-proekt-gosudarstvenno-chastnogo-vzaimodeystviya-v-zdravoohraneni> (дата обращения: 07.10.2017).
44. Суетина Т. А., Мухаметгатова Л. М., Камалова Д. Р. Аутсорсинг функций клиничко-диагностической лаборатории: преимущества и недостатки // Науч. обозрение. 2016. № 12. С. 301–307.
45. Pirozek P., Komarkova L., Leseticky O., Hajdikova T. Corporate governance in Czech hospitals after the transformation // Health Policy. 2015. Vol. 119. № 8. P. 1086–1095.
46. Does Ownership Matter? An Overview of Systematic Reviews of the Performance of Private For-Profit, Private Not-For-Profit and Public Healthcare Providers / C. A. Herrera, G. Rada, L. Kuhn-Barrientos, X. Barrios // PLoS ONE. 2014. Vol. 9, № 12. 18 p.
47. Гроздова Т. Ю. Ответственность сторон в условиях передачи функции по приготовлению готовых блюд сторонним организациям для проведения эффективной диетотерапии в медицинских организациях // Вопр. питания. 2016. Т. 85. № S2. С. 127.
48. Masmoudi M., Houria Z.B., Masmoudi F. Multicriteria decision making for Medical equipment maintenance: Insourcing, outsourcing and service contract // IEEE. 2014. P. 269–275.
49. Brunetta F., Giustiniano L., Marchegiani L. Caring more by doing less? An enquiry about the impacts of outsourcing on patient care // American Journal of Applied Sciences. 2014. Vol. 11, № 2. P. 273–279.
50. Davies S. Fragmented management, hospital contract cleaning and infection control // Policy & Politics. 2010. Vol. 38. № 3. P. 445–463.
51. O'Dowd A. Healthcare outsourcing from NHS to independent sector rose from 4.8 % of market in 2009 to 7 % in 2014, report shows // The BMJ. 2015. Vol. 350. P. h1120.

52. *Young S., Macinati M. S.* Health Outsourcing/Backsourcing // *Public Management Review*. 2012. Vol. 14, № 6. P. 771–794.
53. *Щепин О. П., Медик В. А.* Общественное здоровье и учебник. М. : ГЭОТАР-Медиа, 2012. 592 с. (Серия «Послевузовское образование»).
54. Экономические основы российского здравоохранения. Институциональная модель / Л. А. Габуева, В. М. Шипова, О. Ю. Александрова ; под общ. ред. Л. А. Габуевой. М. : Изд. дом «Дело» РАНХиГС, 2012. 326 с.
55. *Кадров Ф. Н.* Экономические методы оценки эффективности деятельности медицинских учреждений. М. : Менеджер здравоохранения, 2011. 464 с.
56. Оценка эффективности территориальных программ государственных гарантий оказания гражданам Российской Федерации бесплатной медицинской помощи / В. И. Стародубов, В. О. Флек, О. В. Обухова и др. // *Менеджер здравоохранения*. 2010. №2. С. 4–15.
57. *Shishkin S., Zasimova L.* Adopting new medical technologies in Russian hospitals: what causes inefficiency? (qualitative study) // *Health Economics, Policy and Law*. 2017. P. 1–17.
58. *Kelly E., Hurst J.* Healthcare Quality Indicators Project: Conceptual Framework Paper // *OECD Health Working Papers*, 2006. № 23 (3). P. 8–12.
59. *Gwartney J., Lawson R., Hall J.* Economic Freedom of the World: 2012. Annual Report. Vancouver : Fraser Institute, 2012. 322 p.
60. *Barua B.* Provincial Healthcare Index 2013 // *Studies in Health Policy*. 2013. № 1. P. 4–20.
61. *Еремина С., Куделина О.* Эффективность системы здравоохранения. Региональный аспект // *Общество и экономика*. 2014. № 4. С. 141–157.
62. *Куделина О. В., Еремина С. Л.* Эффективность регионального здравоохранения. Экономика региона. 2016. Т. 12. Вып. 1. С. 211–225.
63. ODPHP (2016). Determinants of Health. Healthy People 2020. URL: <http://www.healthypeople.gov/2020/about/foundation-health-measures/Determinants-of-Health#social> (дата обращения: 23.09.2017).
64. World Health Statistics 2012.WHO, 2013. URL: [http://www.who.int/gho/publications/world\\_health\\_statistics/2012/en/](http://www.who.int/gho/publications/world_health_statistics/2012/en/) (дата обращения: 23.09.2017).
65. Мировая статистика здравоохранения 2012. ВОЗ, 2013. 180 с.
66. *Kudelina O., Eremina S., Kudelin N.* Healthcare Efficiency as a Wellbeing Factor in the Siberian Federal District // *The European Proceedings of Social & Behavioral Sciences*. 2017. Vol. XIX. P. 383–395.

67. *Русских Т. Н., Сироткина Н. В., Тинякова В. И.* Формирование рейтинговых оценок эффективности деятельности региональных систем здравоохранения и обязательного медицинского страхования 2015. № 4 (44). С. 197–213.
68. *Levitsky S. R.* Integrating Law and Health Policy // *Annual Review of Law and Social Science.* 2013. № 9. P. 33–50.
69. Курс на благополучие : доклад о состоянии здравоохранения в Европе 2012. ВОЗ, 2013. 167 с.
70. *Аганбегян А.* Преодоление депопуляции в России: впервые за последние 20 лет рождаемость сравнялась со смертностью // *Экон. стратегии.* 2013. № 2. С. 32–38.
71. *Аганбегян А.* Преодоление депопуляции в России: впервые за последние 20 лет рождаемость сравнялась со смертностью // *Экон. стратегии.* 2013. № 3. С. 6–13.
72. *Аганбегян А.* О целях и мерах реформирования здравоохранения в России // *Вопр. экономики.* 2014. № 2. С. 149–157.
73. *Аганбегян А.* О применении научных методов при подготовке решений социально-экономических проблем // *Вопр. экономики.* 2013. № 7. С. 124–137.
74. *Pay for Performance in Health Care: Methods and Approaches* / ed. by J. Cromwell, M. G. Trisolini, G. C. Pope, J. B. Mitchell, L. M. Greenwald. RTI Press publication, 2011. 383 p. Ch. 2. Overview of Pay for Performance Models and Issues. P. 33–76. URL: <https://www.rti.org/sites/default/files/resources/bk-0002-1103-mitchell.pdf> (дата обращения: 23.09.2017).
75. *Health Policy Brief: Pay-for-Performance* // *Health Affairs.* 2012. № 10. URL: [https://healthaffairs.org/healthpolicybriefs/brief\\_pdfs/healthpolicybrief\\_78.pdf](https://healthaffairs.org/healthpolicybriefs/brief_pdfs/healthpolicybrief_78.pdf) (дата обращения: 23.09.2017).
76. *Breyer F., Bundorf M. K., Pauly M. V.* Health Care Spending Risk, Health Insurance, and Payment to Health Plans // *Handbook of Health Economics.* 2011. № 2. P. 691–762.
77. *Paying for Performance in Health Care Implications for health system performance and accountability.* Open University Press, 2014. 312 p. URL: [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0020/271073/Paying-for-Performance-in-Health-Care.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0020/271073/Paying-for-Performance-in-Health-Care.pdf) (дата обращения: 23.09.2017).
78. *Скляр Т. М.* Международный опыт финансирования по результатам деятельности в здравоохранении // *Менеджер здравоохранения.* 2015. № 3. С. 51–57.

79. The WHO Global Monitoring Framework on noncommunicable diseases Progress towards achieving the targets for the WHO European Region. WHO, Regional Office for Europe, Copenhagen, 2017. 15 p. URL: [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0003/340869/Report-3.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0003/340869/Report-3.pdf)

80. Assessing chronic disease management in European health systems: country reports / E. Nolte, C. Knai. WHO, Copenhagen, Denmark, 2015. 140 p.

81. Методология динамической оценки социально-экономического развития территорий : монография / О. В. Кожевина, М. В. Сиротенко, Ю. С. Богачев, П. В. Трифионов ; под науч. ред. О. В. Кожевиной. М. : РУСАЙНС, 2017. 212 с.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам проведенного исследования были разработаны теоретические основы проектирования оптимальных социально-экономических систем, проведен анализ структуры и параметров социально-экономических систем и их воздействия на индикаторы социального, экономического и инновационного воздействия на микро- и макроуровнях, разработаны модели оптимальных социально-экономических систем и их воздействия на индикаторы социального, экономического и инновационного воздействия на микро- и макроуровнях.

Решение поставленных перед исследователями задач строилось на методологическом аппарате физико-математического и экономико-математического проектирования и оптимизации систем с использованием: методов и подходов синергетического анализа; физической статистики; теории вероятности; нелинейной динамики; индикативного анализа; имитационного моделирования; методов теории оптимизации гарантированного (минимаксного) результата в динамических системах; дискретной оптимизации, методах стохастической оптимизации; имитационных динамических методах; методах портфельной оптимизации; методах и подходах гауссовской математики.

В данном исследовании были разработаны новые многоуровневые динамические модели блочной структуры большой размерности с возможностью программного и адаптивного управления рассматриваемыми процессами на основе минимаксного подхода. Такой методологический подход обеспечил возможность использования декомпозиции моделей и процессов, а также разработки методов и алгоритмов параллельного действия.

Исследования воздействия социально-экономических систем на социальное, экономическое и инновационное развитие строились на основе макро- и микроэкономического подхода с использованием методов эконометрического анализа. К ним относились методика анализа панельных данных, контроля за эндогенными параметрами; метод фиксированных эффектов; двухшаговый метод наименьших квадратов; обобщенный метод моментов; инструменты пространственной эконометрики; индексные и индикативные методы; представительские методы; индикаторные методы; методы экспертных оценок; системный и программно-целевой подход.

Кроме того, в рамках работы над проектом были развиты и созданы авторские методы, алгоритмы и инструментальные компьютерные средства для решения междисциплинарных задач мониторинга, прогнозирования развития и оптимизации социально-экономических систем при учете наличия рисков и информационной неопределенности на долгосрочную перспективу. В частности, разработан алгоритм идентификации основных параметров динамических экономико-математических моделей воздействия социально-экономических систем на экономическое, социальное и инновационное развитие на микро- и макроуровнях при учете наличия рисков и информационной неопределенности, который осуществляется на основе минимаксных методов.

В результате выполнения исследований были получены:

- основы теории моделирования оптимизации и управления социально-экономическими системами и их воздействия на индикаторы социального, экономического и инновационного развития на микро- и макроуровнях в условиях турбулентности внешней и внутренней среды;
- эмпирические результаты анализа воздействия социально-экономических систем на индикаторы социального, экономического и инновационного развития в условиях динамичной внешней и внутренней среды;
- прогнозные аналитические модели оптимальных социально-экономических систем и прогнозные значения их воздействия на индикаторы социального, экономического и инновационного воздействия на микро- и макроуровнях.



*Научное издание*

Ханс Висмет  
Александр Николаевич Непп  
Владимир Владимирович Отращенко  
Ольга Викторовна Попова  
Олег Святославович Мариев  
Игорь Михайлович Драпкин  
Ольга Владимировна Куделина  
Андрей Федорович Шориков  
Елена Владимировна Долженкова  
Виола Анатольевна Ларионова  
Гавриил Александрович Агарков  
Андрей Александрович Шилков

**Проектирование оптимальных  
социально-экономических систем  
в условиях турбулентности внешней  
и внутренней среды**

Монография

Корректор Е. Е. Крамаревская

Компьютерная верстка Ю. Б. Швецовой

Подписано в печать    Формат 60х84 1/16  
Бумага офсетная    Печать офсетная  
Усл.печ.л. 32,5.    Уч.-изд. л. 28,0  
Изд. № 8924.    Тираж 300 экз.

Отпечатано в типографии  
ООО «Издательство УМЦ УПИ»  
г. Екатеринбург, ул. Гагарина, 35а, оф. 2  
Тел.: (343) 362-91-16, 362-91-17